

Національний університет «Львівська політехніка»  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Сідун Юрій Володимирович

УДК 691.167

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

05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
(доктора філософії)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



Ю.В. Сідун

Науковий керівник Солодкий Сергій Йосифович, доктор технічних наук,  
професор

Львів 2017

## 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 вироби. Національний університет "Львівська політехніка", Міністерство освіти і науки України, Львів, 2017.

Дисертація присвячена розробленню литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) для тонкошарових покриттів автомобільних доріг з високою швидкістю набору когезійної міцності шляхом удосконалення властивостей сировинних матеріалів і цілеспрямованого добору складу суміші.

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.

У другому розділі наведено інформацію про використані сировинні матеріали для ЛЕМС та методи досліджень для аналізу вихідних матеріалів та самих 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 українському стандарті, а і за характером руйнування на типи за нормами International Slurry Surfacing Association: «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.

Також виділено сім основних стадій взаємодії катіонної бітумної емульсії з кислим мінеральним матеріалом в процесі формування тонкошарового покриття і запропоновано нові методики оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС: початок набору когезійної міцності та експрес методика формування суміші. За допомогою показника початку набору когезійної міцності встановлюємо момент часу, з якого починається розвиток процесів формування тонкошарового покриття з ЛЕМС. В лабораторних умовах визначено, що початок набору когезійної міцності 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.

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

Модифікація окислених бітумів інден-кумароною смолою у кількості 7 % мас. та включення пластифікатора у кількості 8 % мас. дала змогу збільшити температуру розм'якшеності бітуму на 3 °С, а зчеплюваність бітуму із поверхнею скла в 4 рази та зменшити вміст парафінів у цьому бітумі 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.

Розроблено склади бітумних емульсій для марок ЕКМ-60 та ЕКПМ-60 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. бітумної емульсії, синтетичні латекси Tortex A і Tortex B, натуральний латекс Algoltex C в кількості 3% понад масу бітумної емульсії.

Для моніторингу придатності кам'яних матеріалів за показником метилену синього для використання в ЛЕМС було досліджено дев'ять гранітних щебенів з вітчизняних кар'єрів.

Порівняння рентгенофазового аналізу та лазерної дифракції оптимального кам'яного матеріалу за критерієм метилен синій 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 пилюватих і глинистих частинок із високою питомою поверхнею є вищим.

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, розпад та початок набору когезійної міцності збільшуються з додаванням цих компонентів.

Встановлено закономірність, 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 використанням гранскладу кам'яного матеріалу, що відповідає типу суміші 1 (0-5).

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), самоущільненням (0,25 год) та затвердінням (0,75 год), а на окислених – швидким схоплюванням (0,5 год), повільним самоущільненням (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 (самоущільнення настає за 0,75 год, затвердіння за 1,0 год). Своєю чергою, ЛЕМС на основі окисленого бітуму навіть за високої температури (T=30°C) не є ефективною за розвитком процесу формування тонкошарового покриття.

Серед використаних прискорювачів швидкості когезійної міцності ЛЕМС ефективними є спів-емульгатори Redicote 505 та Redicote 540 та вітчизняний матеріал інден-кумаронова смола. 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 самоущільненням ( $\leq 1,0$  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.

У п'ятому розділі наведено дослідно-виробниче впровадження ЛЕМС на основі бітумної емульсії марки 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.

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

**Список публікацій здобувача:**

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: у проведенні експериментальних досліджень, аналізі та оформленні результатів роботи з виготовлення та випробування бітумних емульсій та литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей).

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. (Особистий внесок автора: у проведенні експериментальних досліджень, аналізі та оформленні результатів роботи з виготовлення та випробування бітумних емульсій та литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей).

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. (Особистий внесок

автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).



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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

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, корозієстійкості». Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С.61-62. (Особистий внесок автора: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

## ANNOTATION

*Sidun Iu. 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 devoted to development slurry surfacing mixtures for thin-layer coating roads with high speed of cohesive strength set by improving the properties of raw materials and targeted selection of the mixture.

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.

In chapter 1 there is presented the critical review of literary sources on the issue of slurry surfacing mixes technology, that is: the analysis is done on construction development and advantages of solid pavements on the basis of slurry surfacing mixes, along with foreign and domestic experience on improvement of slurry surfacing mixes technology, while there are also considered the ways of cohesive strength build-up rate increasing for slurry surfacing mixes.

In chapter 2 there is presented the information on raw materials used for slurry surfacing mixes, as well as on investigation methods for analysis of the initial materials and slurry surfacing mixes themselves. There are presented the standard investigation methods for slurry surfacing mixes and their components, and there is proposed to classify the slurry surfacing mixes’ trial samples not just by torque value (as in the Ukrainian standard), but also by character of destruction with classification by types according to the norms of International Slurry Surfacing Association: «N» – Normal (standard) – is characterized by actually complete destruction of the sample with radial cracks present, while the equivalent torque value – 12-13 kg•cm. «NS» – Normal Spin (normal spinning) – is characterized by presence of just one destructing radial crack, while the equivalent torque value – 20-21 kg•cm. «S» – Spin (spinning) – is

characterized by absence of cracks, but there is observed stripping of aggregate grains or their displacement by circle, while the equivalent torque value – 23 kg•cm. «SS» – Solid Spin (solid spinning) – is characterized by absence of cracks. The sample retains integrity, possible displacement or bitumen particles' loss, while the equivalent torque value – 26 kg•cm.

The cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mixes was determined by means of forming the corresponding samples and testing them after some time periods by cohesion-metering device.

There were also distinguished seven main stages of cationic bitumen emulsion interaction with acidic aggregate in the process of thin-layer pavement formation, and the new methods were proposed for evaluation of cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mixes: start of the cohesive strength build-up and express-indicator of mix formation. By means of indicator of cohesive strength build-up start there is determined the time, starting from which the slurry surfacing mix-based thin-layer pavement formation processes begin. In laboratory conditions there was determined that the start of the cohesive strength build-up shall occur not later than 30 s after breakage of the mix. Express methods of mix formation provide for the fast evaluation whether the composition selected by criterion of breakage will be optimum by criterion of cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mixes.

The third chapter is dedicated to substantiation of the choice, investigation and improvement of the raw materials' properties for slurry surfacing mixes. Based on the analysis of structural types of bitumens by criterion of group-chemical composition there was determined that distilled bitumens produced from heavy crude-oil are inclined to the 2<sup>nd</sup> structural type “sol”, and they are characterized by acid number 3,5 mg KOH/g, while the oxidized ones – to the 3<sup>rd</sup> structural type «sol-jell» and they are characterized by acid number 0,5 – 0,6 mg KOH/g.

Modification of oxidized bitumens by indene-coumarone resin in amount of 7 % w/w and inclusion of plasticizer in amount of 8 % w/w provided for increasing of bitumen softening temperature by 3 °C, while adhesion of bitumen to the glass surface – by 4 times, and also for decreasing the paraffin's content in that bitumen – by 1,35

times. The key-factor of indene-coumarone resin's influence upon the oxidized bitumen is the increase of its acidic number till the value of 2,5 mg KOH/g, while it makes this bitumen more suitable for application in slurry surfacing mixes.

There were developed formulations for bitumen emulsions' grades EKM-60 and EKPM-60 on distilled, oxidized and modified bitumens. To increase the cohesive strength build-up rate there were included into the formulations on oxidized bitumens: co-emulsifiers Redicote 505, Redicote 540 in amount of 0,25 % w/w of bitumen emulsion, synthetic latexes Toptex A and Toptex B, natural latex Algoltex C in amount of 3% in excess of the bitumen emulsion weight.

For monitoring of the aggregate suitability by methylene-blue index for application in slurry surfacing mixes – there were investigated nine granite chips from domestic quarries.

The comparison of roentgen-phase analysis and laser diffraction for optimum aggregate (by criterion of methylene-blue) from Klesiv quarry of non-ore minerals “Technobud” (MB =9 ml) and the most surface-active filler among those ones investigated from quarry of JSC Ushitskiy Integrated Plant of Construction Materials (MB=20 ml) – allowed to ascertain that (upon condition of similar mineralogical content) the methylene-blue index will be higher in that aggregate, in which the content of dusty and clayey particles with high specific surface is higher.

In the fourth chapter there is investigated the slurry surfacing mixes components' influence upon the breakage and start of cohesive strength build-up on the basis of both distilled and oxidized bitumens. There is observed the direct-proportional dependence between the content of the control additive (dope) and breakage & start of cohesive strength build-up for slurry surfacing mixes. On the distilled bitumens breakage of the mix takes place sooner, and it demands inclusion into the formulation of the larger dope quantity than in oxidized bitumens – to provide for the normative value of the mix breakage. Although the content of the dope in distilled bitumen is higher, still the time of start of cohesive strength build-up is lower. There was determined that adding cement into slurry surfacing mix (till certain limit value) decelerates the mix breakage and start of cohesive strength build-up, while upon exceeding of the said value cement

accelerates the dynamics of these processes. There was determined that close to the optimum is cement content in the mix on the level of 1 part. In the said quantity cement performs the function of mineral filler, improves the grading of aggregate and controls the breakage time and plasticity of the mix. Influence of emulsion content and water upon the investigated criteria is directly proportional, while breakage and start of cohesive strength build-up increase with addition of these components.

There is stated the rule that, regardless of the bitumen used (either distilled or oxidized), the higher is the value of MB for aggregate, the lower is the cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mix. Aggregate grading, which corresponds to the type of the mix 3 (0-15) is the most efficient by criterion of cohesive strength build-up rate. The slowest growth of cohesive strength is observed with the aggregate grading which corresponds to the mix type 1 (0-5).

There is stated that distilled bitumens have a number of advantages comparatively to oxidized ones – for application in slurry surfacing mixes. The mix on distilled bitumens at 20°C and normal relative humidity is characterized by over-rapid setting (<0,25 h), self-compaction (0,25 h) and curing (0,75 h), while on oxidized ones – by rapid setting (0,5 h), slow self-compaction (4,0 h) and curing (6,0 h). The application of distilled bitumen allows production of the mix even at 10°C and increased relative humidity without substantial time required for its curing (self-compaction occurs after 0,75 h, while curing after 1,0 h). In its turn, slurry surfacing mix on the basis of oxidized bitumen even at high temperature ( $T=30^{\circ}\text{C}$ ) is not efficient by development of the thin-layer pavement formation process.

Among the used accelerators of cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mixes the efficient ones are co-emulsifiers Redicote 505 and Redicote 540, as well as the domestic material indene-coumarone resin. Slurry surfacing mixes with these accelerators and optimum aggregate by MB criterion are referred to type 4 mix, while they are characterized by rapid mix setting ( $\leq 0,5$  h) and rapid self-compaction ( $\leq 1,0$  h). These accelerators allow decreasing the traffic time with speed limit up to 40 km/h within 1 hour. The stage of curing and correspondingly opening traffic without

speed limitations occurs after 2,5 – 3,0 h, while comparatively to slurry surfacing mixes on oxidized bitumens without accelerators (5,5– 6 h) it is quite efficient.

In the fifth chapter there is presented the pilot-industrial implementation of slurry surfacing mixes on the basis of bitumen emulsion grade EKPM-60 with indene-coumarone resin, within the frame of which there was performed the maintenance of asphalt concrete pavement near the entrance to Lviv Center of Space Investigations Institute, as well as the implementation into the educational process (two methodical recommendations were developed). There is also presented the comment to the draft of the second edition of SOU 42.1-37641918-XXX:201X (COY 42.1-37641918-XXX:201X) «Slurry surfacing mixes. Specifications». There is determined the economic efficiency of slurry surfacing mixes developed.

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

***The list of the getter's publications:***

1. Solodkyy S. I. Kinetics of slurry surfacing mixes cohesive strength build-up on bitumens of various origin / S. I. Solodkyy, Iu. V. Sidun, O. Ye. Vollis // Avtoshliakhovyk Ukraine. - 2013. - № 3. - С. 36-40. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

2. Solodkyy S. I. Optimum mix design for slurry surfacing mix based on criterion of its breakage / S. I. Solodkyy, Iu. V. Sidun, O. Ye. Vollis // Herald of National University «Lviv Polytechnic» . Theory and practice of construction.– 2013. - No 755. – p. 406-411. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

3. Solodkyy S. I. Influence of slurry surfacing mixes content upon the mix breakage and start of cohesion strength build-up / S. I. Solodkyy, Iu. V. Sidun, O. Ye. Vollis // Herald of OdACA. – Iss. No 53. – Odesa: OdACA. – 2014.– p. 347-354. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

4. Solodkyy S. I. Potentialities of phosphorus acids application in slurry surfacing mixes technologies / S. I. Solodkyy, O. Ye. Vollis, Iu. V. Sidun // Scientific notes: Inter-college collected volume «Machine-building and metal-processing», «Engineering mechanics», «Metallurgy and materiology». – 2014. - Iss. 45. – p.529-534. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

5. Solodkyy S. I. Accelerators of cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mixes / S. I. Solodkyy, Iu. V. Sidun, O. Ye. Vollis // Scientific notes: Inter-college collected volume «Machine-building and metal-processing», «Engineering mechanics», «Metallurgy and materiology». – 2014. - Iss. 46. – p.516-521. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

6. Pyshyev S.V. Application of indene-coumarone resin for production of modified bitumens, emulsions and thin-layer slurry road pavements / S.V. Pyshyev, Yu. B. Grytsenko, S. I. Solodkyy, Iu. V. Sidun // Coal-Chemical Magazine. – 2015. – No 1-2. – p. 36-43. (Author's personal contribute: in conducting experimental investigations on production and testing of bitumen emulsions and slurry surfacing mixes).

7. Serhiy Pyshyev Using bitumen emulsions based on oxidized, distillation and modified oxidized bitumens for slurry seal production / Serhiy Pyshyev, Yuriy Grytsenko, Sergiy Solodkyy, Iu. Sidun and Oleksiy Vollis // Chemistry & Chemical Technology. – 2015. - Vol 9, №3. – pp. 359-366. (Author's personal contribute: in conducting experimental investigations on production and testing of bitumen emulsions and slurry surfacing mixes).

8. Solodkyy S. I. Determination of cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mixes on orthophosphoric acid / S. I. Solodkyy, O. Ye. Vollis, Iu. V. Sidun // Herald of National University «Lviv Polytechnic». Theory and practice of construction. – 2016. - No 823. – p. 286-293. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

9. S. I. Solodkyy Means of increasing cohesive strength build-up rate by slurry surfacing mixes. / S. I. Solodkyy, Iu. V. Sidun, O. Ye. Vollis // Bielorussian road

scientific-research institute «BelDorNII». Scientific-technical magazine Motor Roads and Bridges. – Minsk, 2016 . – No1 (17).– p.55-61. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

10. Solodkyy S. I. Influence of slurry surfacing mix components upon the kinetics of its cohesive strength / S. I. Solodkyy, Iu. V. Sidun, O. Ye. Vollis // Motor roads and road construction. – 2016. - Iss. 98. - p. 256-264. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

11. Sidun Iu. Technological factors of improving the properties of slurry surfacing mixes for protective layers of road pavements / 70<sup>th</sup> students' scientific-technical conference: Collected theses of reports. – Lviv: Publishing house of Lviv Polytechnic, 2012. – p.33-35. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

12. Iu. V. Sidun Breakage and start of cohesive strength build-up for slurry surfacing mixes. / Iu. V. Sidun, S. I. Solodkyy, Yu. B. Grytsenko, V.V. Khomits, R.O. Burbela // Scientific Ukraine. Collection of materials of All-Ukrainian students' scientific conference with international participants May 25, 2015 – Dnipropetrovsk: «SeKum Software», 2015. – p.394-395. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

13. Pyshyev S.V. Influence of indene-coumarone resin and Kraton D 1192 upon the properties of bitumen modified by them / S.V. Pyshyev., Yu. B. Grytsenko, N.V. Danyliv, Iu. V. Sidun // Scientific Ukraine. Collection of materials of All-Ukrainian students' scientific conference with international participants May 25, 2015 – Dnipropetrovsk: «SeKum Software», 2015. – p.289-291. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).

14. Iu. V. Sidun. Modification of cationic bitumen emulsions by latexes / Iu. V. Sidun, D.A. Balabuh, S. I. Solodkyy // Collection of materials of All-Ukrainian internet-conference of young scientists and students «Composition construction materials and products – means of increasing reliability, durability and corrosion-resistance». Poltava: PoltSTU, 2015. – p.61-62. (Author's personal contribute: in conducting experimental work on processing, analysis and drafting the results of the work).



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	20
<b>РОЗДІЛ 1 КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ЛИТИХ ХОЛОДНИХ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ</b> ....	26
1.1 Розвиток будівництва та переваги тонкошарових покриттів (ТП) на основі литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС).....	26
1.2 Закордонний та вітчизняний досвід удосконалення технології ЛЕМС.....	29
1.3 Шляхи підвищення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС.....	37
1.4 Наукова гіпотеза, мета та задачі дослідження.....	42
<b>РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	44
2.1 Сировинні матеріали.....	45
2.1.1 Кам'яний матеріал.....	45
2.1.2 Бітум і бітумні емульсії.....	45
2.1.3 Модифікатори бітумів та емульгатори для бітумних емульсій....	48
2.1.4 Інші складники ЛЕМС.....	49
2.2 Методи досліджень.....	49
2.2.1 Методи досліджень бітумів та бітумних емульсій.....	49
2.2.2 Методи досліджень кам'яного матеріалу.....	55
2.2.3 Методи досліджень ЛЕМС.....	57
2.2.4 Нові методи оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС.....	59
2.3 Блок-схема дослідження.....	64
2.4 Висновки до розділу.....	65
<b>РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЛЕМС</b> .....	66
3.1 Бітуми нафтові дорожні.....	66

3.1.1 Структурний тип бітумів за критерієм групового хімічного складу (ГХС).....	67
3.1.2 Фізико-механічні властивості бітумів та визначення структурного типу за допомогою розрахункових критеріїв.....	70
3.2 Бітумні емульсії.....	74
3.2.1 Розроблення рецептів бітумних емульсій.....	74
3.2.2 Фізико-технічні показники бітумних емульсій.....	79
3.3 Кам'яний матеріал.....	84
3.3.1 Гранулометричний склад кам'яного матеріалу.....	84
3.3.2 Шкідливі домішки в кам'яному матеріалі.....	90
3.4 Висновки до розділу.....	93
<b>РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ ЛЕМС ЗА КРИТЕРІЄМ ШВИДКОСТІ НАБОРУ КОГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ.....</b>	<b>95</b>
4.1 Проектування оптимальних складів ЛЕМС за критерієм розпаду.....	95
4.1.1 Вплив компонентів суміші на процеси розпаду та початок набору когезійної міцності на основі дистиляційних та окислених бітумів.....	96
4.1.2 Вплив ступеня дисперсності БЕ на розпад суміші.....	103
4.2 Вплив технологічних та зовнішніх чинників на процес набору когезійної міцності ЛЕМС.....	106
4.2.1 Основні показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС.....	107
4.2.2 Вплив типу суміші та загальної поверхневої активності кам'яних матеріалів на розпад та швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі дистиляційних та окислених бітумах.....	110
4.2.3 Швидкість формування покриття на дистиляційних та окислених бітумах.....	116

4.2.4 Температура навколишнього середовища в процесі твердіння ЛЕМС.....	118
4.3 Прискорювачі швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС.....	121
4.4 Визначення втрати маси матеріалу за вологого зносу (ВМВЗ) ЛЕМС.....	125
4.5 Висновки до розділу.....	127
<b>РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ ЛЕМС.....</b>	<b>130</b>
5.1 Дослідно-виробниче впровадження ЛЕМС на основі ЕКПМ-60 з ІКС....	130
5.2 Розроблення відгуку на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови».....	131
5.3 Впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи...131	
5.4 Економічна ефективність розроблених ЛЕМС.....	133
5.5 Висновки до розділу.....	136
ВИСНОВКИ.....	137
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	140
Додаток А Рентгенофазовий аналіз Клесівського та Ушицького відсівів.....	156
Додаток Б Акт про впровадження результатів дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.....	158
Додаток В Лист-прохання від 09.09.2014 №22.2-16/1-1002 від Укравтодору, та ДП «ДерждорНДІ».....	161
Додаток Г Відгук на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови».....	162
Додаток Д Акт про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи.....	168
Додаток Е Список опублікованих наукових праць за темою дисертації та апробація результатів дисертації .....	169

## ВСТУП

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.

**Актуальність роботи.** Ця технологія набуває все більшого розповсюдження в Україні, проте є недостатньо вивченим етап проектування складу суміші. Одним із виявлених вузьких 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 тонкошарових покриттів 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 покращення властивостей вихідних матеріалів для литої суміші в контексті прискорення її твердіння в різних температурних режимах. 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 тонкошарового покриття. 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 тонкошарового покриття з ЛЕМС.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота є складовою частиною наукового 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 рамках 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: початку 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.** Запропоновано сім основних стадій взаємодії катіонної бітумної емульсії з кислим мінеральним матеріалом в процесі приготування ЛЕМС, що дає змогу регулювати процес формування тонкошарового покриття.

Підібрано рецепти бітумних емульсій на дистиляційних, окислених та окислених модифікованих бітумах. Запроектовано рецепти емульсій на основі окисленого бітуму із включенням спеціальних прискорювачів когезійної міцності ЛЕМС, а саме: спів-емульгаторів Redicote 505, Redicote 540, та полімерних модифікаторів синтетичних латексів Tортex А і Tортex В, натурального латексу Algoltex С. Визначено різницю між фізико-технічними показниками емульсій.

Встановлено загальну поверхневу активність 9 вітчизняних кам'яних матеріалів та досліджено придатні для використання в ЛЕМС заповнювачі. Визначено різницю складу між оптимальними та неоптимальними заповнювачами за допомогою рентгенофазового аналізу та лазерної дифракції. Запропоновано проводити підбір мінеральної частини суміші за допомогою розрахункових гранулометричних кривих, які вписуються в граничні межі для кожного з типів ЛЕМС.

Підібрано оптимальні склади ЛЕМС за критерієм швидкості набору когезійної міцності суміші на емульсіях, що виготовлені з модифікованого інденкумароною смолою бітуму, дистиляційних бітумів та емульсій із співемульгаторами.

**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 вирішальними.

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 довкілля 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 10 статтях (з них: 1 стаття – у виданні, що включене до наукометричної бази Scopus, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, та 2 статті – у виданні, що входить до бібліографічної бази даних РІНЦ) та в 7 тезах доповідей на наукових конференціях та матеріалах конференцій.

**Структура та об’єм 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.

# **РОЗДІЛ 1 КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ЛИТИХ ХОЛОДНИХ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ**

## **1.1 Розвиток будівництва та переваги тонкошарових покриттів (ТП) на основі литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС)**

Історія ТП із ЛЕМС розпочинається в 1930-х роках, коли в Німеччині вперше для укріплення злітно-посадкової смуги аеропорту Берлін-Штакен було використано суміш із дрібного щебеню, бітумного в'язучого і води [1]. Цю суміш називали шламом і згодом ця незвична для того часу технологія була використана для ремонту автомобільних шляхів в Німеччині. Протягом наступних років проводились ґрунтовні дослідження щодо впровадження даної технології, але застосування шламу стало широким лише в 1960-х роках, це відбулось за рахунок появи нових емульгаторів для бітумних емульсій та механізмів, здатних виконувати якісне перемішування компонентів суміші [2].

Саме з 60-х років минулого століття поступово почали відходити від ямкового ремонту за виникнення дефектів на покритті і перейшли до індустріального та економічно ефективного профілактичного захисту верхніх шарів покриттів. Зміст профілактичної роботи зводиться до відновлення водонепроникності верхнього шару шляхом суцільного розподілення по поверхні однорідної рідкої суміші, що складається з в'язучого, дрібного щебеню, цементу та хімічних добавок із одночасним поліпшенням зчіпних властивостей покриттів. Необхідність зниження норми витрати в'язучих і здешевлення експлуатації зумовлювала використання у цих технологіях в'язучого у вигляді емульсій. У результаті використання бітумних емульсій для створення тонких захисних шарів норма витрати в'язучого порівняно із гарячим асфальтобетоном скоротилась у 8-10 раз, а порівняно з поверхневими обробками на гарячому бітумі

на 35-40% за одночасного підвищення транспортно-експлуатаційних якостей покриттів.

Завдяки активній роботі хімічної промисловості з синтезу високоякісних жирних амінів, що виробляються компаніями: «Акзо Нобель» (Швеція), «Армак» (США), «Арап Хесс» (Великобританія), «Секзо Шеми» (Голландія), «СЕКА» (Франція), «Хехст», «Рашик» (Німеччина), «Ітерхіміка» (Італія) у 60-х роках минулого століття у будівельників доріг з'явилась можливість створити катіонні емульсії із малою швидкістю розпаду. Саме тоді шламове покриття і отримало загально визнану назву Slurry Seal (Сларрі Сіл), що у перекладі означає шламова ізоляція або ізоляція рідким розчином. Водночас фірма «Slurry Seal Inc. Waco» (Техас, США) розробила першу машину, яка здійснювала однопрохідний закінчений цикл будівництва покриття типу Сларрі Сіл. Це зробило спосіб індустріальним і високопродуктивним і надало поштовх його широкому використанню.

У середині 70-тих років минулого століття технологія вийшла на якісно новий рівень влаштування тонких покриттів із холодного литого асфальтобетону на модифікованій емульсії – Micro-surfacing (Майкросерфесінг). Ця технологія була розроблена німецькою фірмою «Рашик» на основі емульсії, що виготовлялася нею з 1967 р. за французьким патентом. Фірма «Крауз» (Робдорф, Німеччина) вперше уклала холодний асфальтобетон тонким шаром у покриття дорожнього одягу. Завдяки полімерним добавкам, які застосовували в його складі, було значно підвищено фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалу шару.

Саме суміш Сларрі Сіл стала одним із перших матеріалів, що дала змогу створити захисні шари зносу за одну операцію з невеликим проміжком часу для відкриття руху. Ці суміші отримували все більше прихильників у розвинених країнах, відтак у Німеччині ці суміші стали відомими за назвою Schlämme, Micro-surfacing, у Франції – холодний литий асфальтобетон. У СРСР СоюздорНІІ розробив аналогічні суміші, мастики на базі аніонних емульсій за назвою ЛЕМС. Але розпочаті в СоюздорНІІ роботи зі створення матеріально-технічної і

технологічної бази будівництва ТП із ЛЕМС були зупинені через відсутність емульсій із заданими стабільними властивостями, а накопичений виробничий досвід втрачено [3].

Дослідники [4-14] одностайні в тому, що технологія ЛЕМС успішно застосовується для утримання й ремонту федеральних автомагістралей, основних і другорядних територіальних доріг, міських вулиць, під'їздів до житлових масивів. Крім цього, такі суміші застосовуються під час влаштування покриттів проїзної частини мостів, злітно-посадкових смуг, доріжок в аеропортах, паркових доріжок у зонах відпочинку. Петров А.В. [4] стверджує, що аналіз ефективності використання даної технології ремонту автомобільних доріг порівняно із застосуванням традиційних гарячих сумішей показує, що триразове застосування Сларрі Сіл для ремонту покриття за 15-річний термін його служби, за умови забезпечення міцності конструкції дорожнього одягу, коштуватиме в п'ять разів дешевше дворазового ремонту верхнього шару з використанням гарячого асфальтобетону. Також іноземний досвід показує, що під час поточного ремонту 1 км міських вулиць (за ширини проїзної частини 9 м) застосування одного шару суміші Майкросерфесінг товщиною 1-1,2 см обходиться в 2,2 рази дешевше, порівняно з влаштуванням шару асфальтобетону товщиною 2,5 см, і в 3,5 раз дешевше за влаштування асфальтобетонного покриття товщиною 5 см. Водночас застосування емульсійно-мінеральної суміші не вимагає ні фрезерування, ні перестановлення бортового каменю, ні великого обсягу автотранспортних робіт.

Під час будівництва та ремонту автомобільних доріг у великих містах особливо актуальним є питання про вплив тієї чи іншої технології на навколишнє середовище. Дослідження, проведені компанією «BASF», показують, що за ремонту одного кілометра дороги руйнівний вплив на озоновий шар ЛЕМС в 4 рази нижчий, ніж під час застосування звичайного асфальтобетону. Водночас Сларрі Сіл і Майкросерфесінг в 3,8 рази «чистіший» за рівнем CO<sub>2</sub> і в 4 рази за рівнем NO<sub>2</sub> в розрахунку на наведений кілометр. Параметри «шумності» покриття на 10-15 % нижчі, ніж традиційного асфальтобетонного покриття, і на 15-20 % нижчі, ніж покриття влаштованого методом поверхневої обробки.

Крім економічних та екологічних параметрів оцінювання даної технології, литі суміші мають переваги з точки зору безпеки дорожнього руху. Критерієм оцінювання безпечного руху був коефіцієнт зчеплення. Вимірювання виконані лабораторією Національного Аерокосмічного Агентства США (NASA), на аеродромах з покриттями Сларрі і Майкросерфесінг, показали, що коефіцієнт зчеплення з покриттям на швидкості 30, 60 і 90 км/год відповідно в 1,12; 1,37; 2,9 рази вищий, ніж на звичайному асфальтобетонному покритті [4].

Таким чином, огляд літературних джерел показав, що технологія ЛЕМС має низку переваг: низька енергоємність процесу, екологічність, безшумність та висока водонепроникність, висока адгезія і зчіпні властивості по відношенню до існуючої поверхні, можливість виконання робіт за середньодобової температури повітря вище + 5 °С. Крім цього, ЛЕМС збільшують довговічність покриттів завдяки нейтралізації тріщин і незначних вибоїн, збільшенню шорсткості, коефіцієнта зчеплення, рівності поверхні.

## **1.2 Закордонний та вітчизняний досвід удосконалення технології ЛЕМС**

У світовому просторі досі найавторитетнішою організацією, що займається проблематикою ЛЕМС залишається International Slurry Surfacing Association (ISSA) в перекладі на українську – Міжнародна асоціація будівельників шламових покриттів. Це некомерційна організація, що заснована у 1963 році в США, яка також досліджує такі сучасні технології, як Chip Seal (поверхнева обробка) та Crack Treatments (струменево-ін'єкційна технологія). Вагомий внесок для розвитку покриттів із ЛЕМС зробив Р. Бенедикт – директор із досліджень ISSA. Завдяки його працям [15-29] та роботам його колег [30-41] уявлення про ЛЕМС значно розширились, технологія вийшла на якісно новий прогресивний рівень, що вилилось в прийнятті асоціацією ISSA цілої низки нормативних документів (технічних бюлетенів) [42-57]. Технічні бюлетені даної асоціації були основою для створення європейської нормативної бази технології ЛЕМС [58-65].

В колишньому СРСР, а саме в СоюздорНІ зусиллями Плотнікова, І. А.,

Петухова Н. І., та Рвачової Е. М. [66-68] велись дослідження, що стосувались емульсійно-мінеральних сумішей, але як згадувалось через відсутність емульсій із заданими стабільними властивостями дослідження були припинені.

У США Каліфорнійський департамент транспорту (California Department of Transportation) за допомогою низки інших кваліфікованих організацій розгорнув широкі дослідження в сфері ЛЕМС, які мають на меті вирішити проблеми на стадії проектування та випробування ЛЕМС. Внаслідок цього, були проведені масові опитування авторитетних агентств в США та Канаді, які працюють з технологію ЛЕМС та визначені основні проблеми і недоліки існуючих тепер методів проектування та випробування даних сумішей. На основі цих опитувань була розроблена робоча програма, яка складається з трьох послідовних розділів (фаз), які мають на меті виявити та виправити недоліки в існуючих нормативно-технічних документах та розробити нові сучасні автоматизовані методи проектування сумішей. Дві фази ґрунтовних досліджень вже вийшли у світ [69,70] в них для всіх ключових методів контролю були розроблені автоматизовані тести з сучасним обладнанням, яке дає змогу мінімізувати суб'єктивний людський вплив на результати досліджень та вдосконалює методи проектування суміші. Третя фаза має на меті підтвердити та узагальнити раніше проведені дослідження і удосконалити методи контролю. Автори стверджують, що після закінчення роботи над третьою фазою в результаті проведених досліджень можна буде отримати цілісні, чіткі методи моделювання роботи тонкошарових холодних литих асфальтобетонних покриттів в лабораторних умовах, що відображають реальні властивості покриття безпосередньо на практиці.

Серед сучасних європейських дослідників, що займаються питаннями ЛЕМС, особливо цікавими є праці А. Джеймса – старшого наукового співробітника компанії «Akzo Nobel» відділу «Asphalt Applications» (Швеція). В праці [71] автор із колегами розглядає нормативні показники якості бітумних емульсій для ЛЕМС, особливу увагу приділяючи розподілу частинок бітуму за розміром в бітумних емульсіях. Адже цей показник впливає на стійкість під час зберігання бітумної емульсії, огорнення та адгезію бітумної емульсії до кам'яного

матеріалу під час їх перемішування, швидкість схоплювання суміші. А. Джеймс вказує, що типовий діаметр крапель емульгованого бітуму в емульсії коливається від 1 до 20 мк. Своєю чергою, технічний директор VSS Bitumen Technologies (США) Г. Холлеран та технічний менеджер VSS Bitumen Technologies І. Мотіна встановили [72], що найкращі результати дає вузький діапазон розподілу бітумних частинок від 1 до 5 мкм. Цей діапазон залежить від виду та якості бітуму, специфіки бітумно-емульсійних установок (колоїдного млина) та визначеної комбінації хімічних компонентів. Ці дослідження свідчать про те, що розподіл краплин бітуму в емульсії впливає на властивості ЛЕМС, тому потрібно також досліджувати цю проблему та виконати порівняння дисперсності емульсій, що виготовлені на лабораторних та промислових установках.

У доповіді, представлений в листопаді 2008 року на Міжнародному симпозіумі з технології бітумних емульсій у Вашингтоні, А. Джеймс і його колега Т. Нг із НДІ «Croton River» представили інформацію з впливу цементу на ЛЕМС, також були наведені останні результати досліджень «Akzo Nobel» із емульсійним системам з ортофосфорною кислотою. Ця доповідь була продовженням презентації представлений на Всесвітньому конгресі по емульсіям 2006 року. У доповіді, представлений в лютому 2008 р. на засіданні АЕМА в Мексиці, А. Джеймс наводить опис катіонних емульсій з швидким і середнім розпадом, приготовлених в системі ортофосфорної кислоти для ТП з ЛЕМС [73]. Також Джеймс разом з іншими науковцями [74] досліджував адсорбцію катіонних поверхнево-активних речовин на поверхні кам'яних матеріалів в ЛЕМС. Колега Джеймса Б. Дан в статті [75] надає загальну характеристику ЛЕМС, як емульсійно-мінеральної системи. Загалом вже згадувана компанія «Akzo Nobel» все далі наполегливо пропагує використання ортофосфорної кислоти в ЛЕМС [80-82]. Але як було встановлено в [83,84] існує суттєва відмінність в реакції бітумної емульсії на ортофосфорній та соляній кислотах з цементом. Експериментально доведено, що підбір складу ЛЕМС на ортофосфорній кислоті є більш складним, в порівнянні із аналогічною системою на соляній кислоті. Найімовірніше це відбувається через складні процеси взаємодії цементу та

емульсії. Тому ЛЕМС з ортофосфорною кислотою через складність добору складу суміші можливо не є оптимальним варіантом вирішення проблеми швидкості набору когезійної міцності суміші.

В Республіці Білорусь ЛЕМС успішно використовуються вже протягом 10 років. П.В. Вавілов, С.Е. Кравченко, Н.В. Радьков у роботах [85,86] дають загальну характеристику емульсійно-мінеральній суміші литої консистенції та звертають увагу, що технологія застосування ЛЕМС є однією з найбільше опрацьованих у технологічному і матеріалознавчому сенсі і, тим не менше є однією з найскладніших за реалізації. Ця складність полягає в тому, що для виготовлення якісного і довговічного шару зносу на будівельному майданчику часто доводиться коригувати ретельно підібраний в лабораторії склад під мінливі зовнішні умови. У праці [87] Вавілов П.В. та С.Е. Кравченко представили та проаналізували результати дослідження процесів розпаду бітумних емульсій під час контакту з мінеральними матеріалами, коалесценції (злиття капель емульсії) і збільшення когезії емульсійно-мінеральних сумішей, а також можливі способи управління цими процесами. Показано необхідність комплексної оцінки явищ, що відбуваються під час формування структури дорожнього бетону з емульсійно-мінеральної суміші, і створення методів випробувань, що враховують специфічні процеси, що відбуваються під час цього.

Інші білоруські вчені Н. П. Крутько, О. Н. Опанасенко, А. В. Мінін виділяють п'ять основних стадій взаємодії бітумних емульсій з мінеральним матеріалом в процесі формування в'язучого під час влаштування захисних шарів дорожніх покриттів типу «Сларрі Сіл», та вказують, що швидкість формування покриттів з емульсійно-мінеральних сумішей визначається процесами перерозподілу ПАР на межах поділу фаз бітум – мінеральний матеріал [88].

В [89] згадується, що становлення покриттів із ЛЕМС відбулося завдяки роботам таких вітчизняних і зарубіжних дослідників, як О.П.Архіпова, М. Аудеон, С. Ф. Балашов, О. В.Бернштейн, В. І. Братчун, Й. Броссауд, Б. Бруле, М. Вів'єр, Р. Вітлінгер, П. Гебель, Ф. П. Гончаренко, А.А. Горнаєв, П. Дюпонт, С. В. Єгоров, Г. М. Ільяшов, Е. О. Казарновська, Л. Ф. Кириченко, А. Кларак, М. Г.



Кононов, Л. Я. Кремнев, М. І. Кучма, В. В. Назаров, М. Ф. Нікішина, Г. Оле, Р. Петерс, І. А. Плотникова, С. О. Попченко, І. І. Раб, М. Раденберг, Н. В. Редьков, Ф. Рашиг, Е. М. Рвачева, П. А. Ребіндер, С. І. Романов, Р. Спілмакер, Л. Ф. Ступакова, К. Такамура, Х. Хартрідж, Д. Шміт та інші. Вагомий внесок зроблено також німецькою Асоціацією контролю якості холодних сумішей, Центральною лабораторією доріг і мостів Франції та іншими і вже згадуваною Міжнародною асоціацією будівельників шламових покриттів.

Також проблемі становлення технології ЛЕМС та дослідженню в'язучих матеріалів приділяють увагу такі українські вчені, як Жданюк В.К. , [90-92]. Золотарьов В.О. [93-95]., Гамеляк І. П. [96,97], Солодкий С.Й. [83-84], Мозговий В.В. [98-99].

Гамеляком І. П. та Островерхим О. Г. [89,96,97,100,101] було встановлено характеристики напружено-деформованого стану ТП, запропоновано метод розрахунку тонкошарового емульсійно-мінерального покриття (ТЕМП) нежорсткого одягу автомобільних доріг за двома критеріями: міцності на зсув і вирівнювання основи, отримано теоретичне рішення про вплив нерівностей верхньої і нижньої поверхонь покриття на його товщину, експериментально визначено основні фізико-механічні і розрахункові показники матеріалу з ЛЕМС та експлуатаційні якості ТЕМП. Також встановлено область раціонального використання ТЕМП за міцністю, рівністю і економічною ефективністю та оцінено термін його служби у вітчизняних умовах і розроблено та впроваджено метод проектування ТЕМП.

О. Г. Островерхим разом із В. Я. Савенком та В. І. Каськівим [102] було проаналізовано досвід влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення.

В. К. Вирожемським, М. Л. Міщенко, О. В. Кушніром, В. М. Катуювою в праці [103] наведено результати моніторингу ділянок автомобільних доріг Київ-Чоп, Київ-Луганськ-Ізварине, Київ-Одеса, Ульяновка-Миколаїв, Київ-Харків-Довжанський та інших із застосуванням сучасної технології влаштування ТП із ЛЕМС, проведено аналіз довговічності ТП, а саме їх вплив на уповільнення

утворення деформацій і підтримання стабільних показників зчеплення та рівності. Визначена економічна ефективність застосування цієї технології порівняно з традиційним щорічним виконанням поточного ремонту. Також В. К. Вирожемський та В. М. Катуківа [104] внаслідок моніторингу 53-57 км та 119-122 км автомобільної дороги Київ – Одеса, де було влаштоване ТП з ЛЕМС, засвідчили, що застосування даної технології дає змогу подовжити термін служби покриттів, сприяє уповільненню деформаційних процесів, відновленню зношеного верхнього шару, підвищенню шорсткості, покращенню транспортно-експлуатаційних показників.

Проблеми технології ЛЕМС неодноразово піднімалися в рамках науково-технічних конференцій. На міжнародній науково-технічній конференції «Бітумоемульсійні матеріали і технології дорожніх робіт» проф. Савенко В. Я. (НТУ) присвятив свою доповідь питанням нормативно-технічного забезпечення влаштування ТП із ЛЕМС, Островерхий О. Г. та Іваниця Ю. П. торкнулися питань вибору кам'яних матеріалів, підбору складів емульсій та емульсійно-мінеральних сумішей, відпрацювання технологічних параметрів влаштування ТП [105]. На міжнародній науково-практичній конференції, яка присвяченій досвіду влаштування ТП з емульсійно-мінеральних сумішей (ЕМС) виступили ряд науковців та представників виробництва, таких як: Березовський М. В., Прусенко Є. Д., Савенко В. Я., Титар В. С., Кіщинський С. В., Радьков М. В., Журавський Д. Л., Ян Охман, Пер Олюд, Томас Валін, Гураль Р. С., Альберто Кабала, Островерхий О. Г., Білоус А. В., Василенко Ю. В. Доповіді всіх учасників можна розділити на три напрями: нормативне забезпечення робіт, технологічне обладнання та матеріали, досвід і проблеми використання технології ЛЕМС [106].

І. Є. Лінник та Н. А. Борисова [107] розглянули сучасні конструкції дорожнього покриття із ЛЕМС, яке використовують для розробки практичних та ресурсозберігаючих технологій у різних регіонах.

Загалом у згаданих вище роботах недостатньо приділено увагу матеріалознавчим аспектам технології ЛЕМС. Чітко не структуровані та не проаналізовані чинники, що впливають на швидкість набору когезійної міцності

ЛЕМС. Немає чіткої схеми для вирішення проблеми виготовлення ЛЕМС на окислених бітумах.

В праці [108] проблему влаштування на дорогах України ЛЕМС досліджують С. В. Кіщинський, Ю. Ф. Гончаренко, Е. М. Гнатюк. Науковцями ДерждорНДІ були виявлені характерні проблеми в застосуванні даної технології: використання кам'яних матеріалів, з властивостями, що не відповідають вимогам цієї технології, використання бітумів з неоптимальним груповим складом, який не забезпечує інтенсивне формування ТП, укладання ЛЕМС з неправильно підібраним гранулометричним складом та недотриманою кількістю в'язучого (його недостача чи надлишок), виконання підбору оптимальних складів ЛЕМС без використання спеціального лабораторного обладнання для випробувань готового матеріалу. Також в роботі були визначені додаткові вимоги, яким повинні відповідати бітуми, що застосовуються для приготування ЛЕМС. Проведені випробування, які дають змогу перевірити придатність низку вітчизняних і закордонних бітумів за критерієм швидкості формування ТП та встановлено, що найбільш придатними є бітуми виробництва компанії «Nynas» (Швеція) та ВАТ «Лукойл-Ухтанефтепереработка» (Росія). Щодо кам'яних матеріалів проведені випробування показали, що за гранулометричним складом та показником метилен синій для влаштування ТП в певних пропорціях придатні матеріали кар'єрів: Шамраївський, Кошик, Новоград-Волинський, Клесівський, Селищанський. Проте, автори не приводять варіанти вирішення проблеми низької швидкості формування покриття за допомогою місцевих матеріалів.

Д. Л. Журавський [109] вказує на те, що для влаштування захисного тонкошарового покриття типу Slurry Seal застосовуються бітумні емульсії, виготовлені на основі імпортованих бітумів шведського виробництва Nynas. Нафту для їх виготовлення імпортують із Венесуели на нафтопереробні заводи Швеції, і готовий бітум транспортують у сховища Балтійських країн, із яких він і потрапляє до України. Складний шлях, висока вартість, попередні замовлення, оплата в іноземній валюті – усе це не сприяє розвитку та масовому застосуванню таких технологій. Тому на ринку України домінують окислені бітуми.

В працях [108-109] стверджують, що оптимальним в'язучим для виготовлення ЛЕМС є дороговартісні дистиляційні бітуми виготовлені з важкої нафти, але не приводяться альтернативні варіанти ЛЕМС без використання цього в'язучого. Використання окисленого бітуму з покращеними властивостями для ЛЕМС могло б скласти конкуренцію дистиляційному бітуму на ринку.

Гореловом С.В. [10] досягнута можливість регулювання експлуатаційних властивостей шарів зносу дорожніх покриттів шляхом використання водорозчинного ПАР-модифікатора під час попереднього змочування мінерального матеріалу, а також портландцементу. Ним виявлено механізм впливу комплексної модифікації розробленого «парного модифікатора» за участю структуруючого фрагмента дисперсної фази каучуку МНПБ і стабілізатора дисперсного середовища АЛКАПАВ 1618.30 на процесі структуроутворення бітумних емульсій та дорожніх покриттів на їх основі, також визначено основні принципи підбору компонентного складу і прогнозування властивостей шарів зносу дорожніх покриттів із заданими експлуатаційними характеристиками; встановлено і змодельовано процес підвищення адгезійних властивостей і уповільнення процесів старіння залишкового в'язучого, розроблених емульсій для шарів зносу автомобільних доріг завдяки блокуванню місць можливих контактів асфальтенів за рахунок адсорбції на них модифікуючих добавок в процесах структуроутворення.

Поповою Г.В. [11-14] встановлено емпіричні залежності експлуатаційних властивостей шару зносу з емульсійно-мінеральної суміші від вмісту бітумної емульсії, цементу і емульгатора, запропоновано методику оцінки економічного ефекту від влаштування шарів зносу на дорожніх покриттях з урахуванням використання місцевих дорожньо-будівельних матеріалів, що випускаються в Свердловській області, запропоновано новий дорожній матеріал - емульсійно-мінеральна суміш і технологія на його основі будівництва та ремонту покриттів з влаштуванням шарів зносу на автомобільних дорогах Свердловської області (Російська Федерація) з використанням нових машин типу ЕОМ-ЮОО.

Сьогодні в Україні будівництво ТП з ЛЕМС відбувається шляхом залучення та адаптації закордонних технологій, машин і хімічних реагентів. Адаптація даної технології до особливостей вітчизняного виробництва і сировинної бази потрібна з метою досягнення необхідних властивостей матеріалу і покриття [3]. Також необхідно впровадження нових методик і показників для більш чіткого і вірного встановлення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС.

### **1.3 Шляхи підвищення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС**

Влаштування ТП з ЛЕМС є високоефективною та складною технологією ремонту та відновлення доріг, яка висуває певні жорсткі, специфічні вимоги до складових ЛЕМС. Виробнича практика показала, що вихідні матеріали, які використовуються в Україні для влаштування таких шарів навіть за відповідності їх вимогам нормативних документів не є оптимальними для застосування в цій технології [108]. Можна виділити дві основні проблеми застосування даної технології. Перше це використання мінеральних матеріалів із високою загальною поверхневою активністю (реактивністю). Загальна поверхнева активність глинистих часток, органічних домішок, шкідливих мінералів таких матеріалів перевищує допустиме значення за цим критерієм. Друга це використання бітумних емульсій на бітумах, що не забезпечують необхідну швидкість набору когезійної міцності укладеної литої суміші, а відтак інтенсивне формування покриттів та своєчасне відкриття руху по них. До таких бітумів відносяться високопарафіністі окислені (окиснені) нафтові бітуми з низькими кислотними числами. Наявність цих двох основних проблем та залежність ЛЕМС від температури та вологості навколишнього середовища спричиняють обмеженість цієї технології для використання.

Вітчизняні та закордонні дослідники [80,81,108,109-112] однакові в тому, що дистиляційні бітуми з високими кислотними числами, які виробляються із важкої високосмолистої, мало парафіністої нафти з нафтно-ароматичною

основою є найбільш придатними для бітумно-емульсійних технологій, зокрема, для ЛЕМС. Аналіз запасів важких нафт показав, що більша частина їх світових запасів зосереджена в Канаді, Венесуелі та Росії. До важких нафт відносять ті, що мають густину більше  $0,88 \text{ г/см}^3$  [113]. Це значення густини нафти визначено та погоджено на основі аналізу класифікацій багатьох дослідників та інформації з баз даних [114], а також це значення відповідає межі, за якою починаються ускладнення під час видобування, транспортуванні та переробці нафти, що призводить до зростання її собівартості [115,116]. Взагалі важки нафти за густиною ділять на три класи: з підвищеною густиною ( $0,88 - 0,92 \text{ г/см}^3$ ), надважка нафта ( $0,92 - 0,96 \text{ г/см}^3$ ), бітумінозна нафта (більше  $0,96 \text{ г/см}^3$ ). Високосмолистими нафтами прийнято вважати нафти з вмістом смол більше 13%. Високий вміст смол в нафті також призводить до технологічних ускладнень, під час видобування і транспортування нафти, і в процесі її переробки. Окрім цього, високий вміст смол також сприяє утворенню коксу в процесі нафтопереробки, що призводить до закоксування поверхні каталізаторів, викликаючи великий економічні витрати під час нафтопереробки [117].

В 1999 році в Україні у Львівській області біля міста Комарно було відкрито нафтовий поклад Орховицького родовища, що знаходиться на Судово-Вишнянській площі, на території Передкарпатського прогину. Було встановлено, що орховицька нафта – це важка високосірчана малопарафініста нафта з густиною  $0,963\text{--}0,972 \text{ г/см}^3$ , вмістом сірки 6,3 % мас., та вмістом парафінів 2,3 % мас. і сумарним вмістом асфальтосмолистих речовин понад 33,0 % мас. Саме така сировинна нафта могла бути використана для продукування дистиляційних бітумів, які використовуються в ЛЕМС. Але цю нафту переробляють на технологічній установці, що є структурною одиницею ДК «Укргазвидобування» НАК «НафтогазУкраїни», яка не дає змогу отримати товарний дистиляційний бітум, який би відповідав вимогам нормативних документів [118-120] і міг би бути використаний в технології ЛЕМС. Встановлення нового або модернізація наявного обладнання для виготовлення якісних дистиляційних бітумів потребує великих капітальних та експлуатаційних затрат.

З огляду на це можна зробити висновок, що добування і використання важких високосмолистих нафт потребує значних капіталовкладень. Альтернативою до цього може бути використання вже готових дистиляційних бітумів, які постачаються із закордону. Добре зарекомендували себе на українському ринку бітуми компанії Nynas (Нінес), які відповідають міжнародним стандартам якості та безпеки щодо навколишнього середовища. Також ці бітуми сертифіковані для використання на території України і рекомендовані Державною службою автомобільних доріг України "Укравтодор" для застосування у бітумно-емульсійних технологіях. Виробництво бітумів здійснюється методом фракційної перегонки, з проходженням через дистиляційну колону за атмосферного тиску, а також через вакуумну дистиляційну колону. Спеціальне конструктивне виконання вакуумної дистиляційної колони дає можливість виділення необхідних фракцій за відносно нижчої температури та з коротшим часом перебування в колоні (зменшується старіння бітуму) [121]. Але недоліком використання таких бітумів є знову ж їх вартість.

Відповідно бітуми на основі важких високосмолистих нафт є оптимальними для технології ЛЕМС, але водночас вони є дефіцитними та дорого вартісними.

Компанія «AkzoNobel Surface Chemistry» після низки ґрунтовних досліджень запропонувала використовувати систему ЛЕМС, у рецепт бітумної емульсії якої входить на заміну соляній кислоті з відповідними емульгаторами, нетрадиційна ортофосфорна кислота разом із спеціальними емульгаторами. Ця система ЛЕМС отримала назву Redipave (в перекладі з англійської «швидке покриття»). Перевагами Redipave є можливість використання неоптимального для технології ЛЕМС окисленого бітуму та поверхнево активних кам'яних матеріалів. Водночас швидкість формування ТП з ЛЕМС є вищою, що дає змогу зменшити вплив чинників навколишнього середовища (температура повітря, вологість, час доби) на час відкриття руху транспортних засобів після влаштування шару зносу [80-82]. Але недоліком цієї системи є складність в підборі складу ЛЕМС за критерієм розпаду, через надмірну залежність часу розпаду від вмісту цементу в суміші.

Одним із сучасних та популярних варіантів підвищення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС є використання в рецептах бітумних емульсій спеціальних спів-емульгаторів. Компанія «AkzoNobel Surface Chemistry», продукція якої є популярною в Україні, цілеспрямовано розробила спів-емульгаторів Redicote 505 [110] та Redicote 540 [122] для їх використання в емульсіях на основі окислених бітумів. Включення цих спів-емульгаторів у водну фазу БЕ у визначеній кількості разом із стандартними емульгаторами від цієї компанії дають змогу прискорити темпи формування когезійної міцності ЛЕМС. Конкурентом компанії «AkzoNobel Surface Chemistry» на європейському ринку є французька компанія СЕСА (СЕКА), яка також розробила лінію спеціальних емульгаторів під назвою «Stabiram». Проблему приросту когезійної міцності в цій лінійці вирішує продукт Stabiram MS8, який виготовляється на основі похідних жирних амінів [123].

У США даною проблематикою займається компанія Valley Slurry Seal Co, яка в свою чергу розробила спеціальні продукти для швидкого затвердіння, як литої суміші Slurry Seal – емульгатори амідоаміні на основі жирних кислот, які містять кілька аміногруп (RoadChem 300®, RoadChem 301, RoadChem 305, RoadChem 306, RoadChem 309), так і для Micro-surfacing (імідазоліновий емульгатор RoadChem 200, RoadChem 201, амідоаміний емульгатор RoadChem 236). Також розроблені спеціальний емульгатор типу жирного діаміна RoadChem 400 для використання в емульсіях на основі різних типів бітумів в тому числі високо парафіністичних бітумів із значним вмістом асфальтенів та низькою пенетрацією. Ці емульгатори можуть використовуватись одноосібно в БЕ або в рекомендованих поєднаннях один із одним або з полімерами [124]. Проте, вплив спів-емульгаторів на процеси набору когезійної міцності на вітчизняних сировинних матеріалах вивчено не достатньо.

Іншим можливим шляхом підвищення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС є використання різних полімерних модифікаторів для покращення якості, традиційних для українського ринку, окислених бітумів та катіонних бітумних емульсій на їх основі. Найпоширенішими модифікаторами бітумів та



бітумних емульсій є такі полімери, як природний каучук, сополімер стирол-бутадієну, сополімер стирол-ізопрену, сополімер ізобутилен-ізопрену, поліхлорпропен та інші [91]. Найбільш вживаними полімерами для використання в рецептах катіонних емульсій на українських теренах є: синтетичні латекси Toptex A і Toptex B і натуральний латекс Algoltex C компанії Algol Chemicals (Фінляндія/Швеція) та Butonal NS 198 хімічного концерну BASF (Німечинна). Toptex A і Toptex B представляють собою латексний SBR-полімер (стирол-бутадієновий синтетичний каучук), а Algoltex C – є модифікованим натуральним каучуковим латексом [121]. Латекс Butonal NS 198, належать до класу термоеластопластів типу SBR і є водною дисперсією сополімерів бутадієн-стиролу [90]. Але використання цих модифікаторів є також не дешевим.

Дослідження [125] доводять, що однією з речовин, які характеризуються високими адгезійними й емульгуючими властивостями є інден-кумаронова смола (ІКС), яка може бути використана, як модифікатор бітумів та бітумних емульсій. ІКС – це кополімер індену, кумарону, стиролу та їх похідних і її вартість є суттєво меншою від ціни згаданих модифікаторів. Дослідження, описані у [126-130], довели можливість використання інден-кумаронових смол для модифікування бітумів з метою підвищення їх температури розм'якшення і адгезії до мінеральних матеріалів. Сировиною для виробництва інден-кумаронових смол може слугувати один з побічних продуктів коксохімічних виробництв – інден-кумаронова фракція (ІКФ), яку часто називають «важким бензолом» [131]. ІКФ – це продукт перегонки бензинових фракцій, які, своєю чергою, одержуються внаслідок термічної деструкції органічної частини вугілля під час його коксування. Застосування ІКС для модифікації нафтових бітумів дасть змогу не тільки покращити експлуатаційні властивості останніх, але й дасть змогу ефективно використовувати один з побічних продуктів коксохімічних виробництв (інден-кумаронову фракцію). Властивості бітумів, модифікованих ІКС вказують на можливість покращення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС.

Отже, найефективнішими шляхами підвищення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС є використання полімерних модифікаторів та спів-

емульгаторів для бітумних емульсій. Проте не достатньо дослідженим є сумісна робота цих прискорювачів когезії з вітчизняними доступними для використання сировинними матеріалами, що стримує широке впровадження технології ЛЕМС.

#### **1.4 Наукова гіпотеза, мета та задачі дослідження**

Швидкість формування покриття з ЛЕМС на основі окислених бітумів та поверхнево активних мінеральних матеріалів є недостатньою відповідно до світових стандартів та практичних вимог, отже потрібно вести пошук технологічних рішень для розв'язання даної проблеми.

Проведений літературний огляд показав, що сьогодні питання підвищення швидкості набору когезійної міцності вирішують за допомогою дорого вартісних і не завжди доступних методів та матеріалів. Серед обраних варіантів вирішення цієї проблеми найбільш перспективними з нашої точки зору є використання недорогих вітчизняних модифікаторів, а саме – ІКС. Завдяки дослідженням [126-130] було встановлено позитивний впливу ІКС на бітум та бітумні емульсії. На підставі цього висунута наукова гіпотеза, що цей продукт за використання його як модифікаторів в'язучого в ЛЕМС призведе до підвищення кислотного числа вихідного окислених бітуму, а отже і прискорить швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС.

Також не до кінця відомо, як швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС залежить від підбраного гранулометричного складу суміші та загальної поверхневої активності кам'яного матеріалу, тому дослідження та аналіз впливу цих чинників на ЛЕМС дасть змогу прогнозувати приріст когезійної міцності ЛЕМС.

Отже, науковою гіпотезою досліджень є можливість підвищення когезійної міцності ЛЕМС на основі окислених бітумів за рахунок їх модифікації та варіювання технологічних чинників складу, а саме: використання спів-емульгаторів, полімерних модифікаторів, інден-кумаронової смоли, добору

кам'яних матеріалів з потрібним гранулометричним складом та низькою поверхневою активністю.

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

Для досягнення постановленої 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.

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Сировинні матеріали

Для приготування ЛЕМС використовують наступні сировинні компоненти: кам'яний матеріал фракцій від 0 до 15 мм, середньорозпадні та повільнорозпадні катіонні бітумні емульсії, мінеральні тонкодисперсні наповнювачі, питну або технічну воду та регулятор часу розпаду суміші (присадка).

Кам'яні матеріали (щебінь, відсів, щебенево-піщані суміші) використовують згідно з чинними нормативними документами і отримують при подрібненні, переважно, вивержених або метаморфічних гірських порід із границею міцності на стиск не менше 100 МПа.

Кам'яний матеріал повинен проходити двостадійне дроблення. Форма зерен має максимально наближатися до кубовидної, а лещадність – не перевищувати 10 % [132].

Катіонні бітумні емульсії використовують не модифіковані та модифіковані, середнього та повільного розпаду марок ЕКП-60, ЕКПМ-60, ЕКП-65, ЕКПМ-65, ЕКС-65 та ЕКСМ-65 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129 [133].

Для приготування емульсій використовують бітуми нафтові дорожні в'язкі згідно з ДСТУ 4044 [134] або СОУ 45.2-00018112-069:2011 [135], бітуми модифіковані – згідно з [136-138].

Для поліпшення фракційного складу кам'яного матеріалу, регулювання часу розпаду і пластичності суміші слід використовувати мінеральні наповнювачі, а саме цемент або молотий вапняк, доломіт, базальт, золу [132].

Для приготування сумішей необхідно використовувати питну воду або технічну воду згідно з чинними нормативними документами без механічних домішок із середньою жорсткістю не вище 6 мг-екв/л [132].

Як регулятор часу розпаду суміші застосовують поверхнево-активні речовини (ПАР).

### 2.1.1 Кам'яний матеріал

Для дослідження ЛЕМС було використано гранітний щебінь фракцій 5-15 мм та щебеневий відсів фракції 0-5 мм наступних кар'єрів:

1. ТОВ Рокитнянський гранкар'єр (Київська область);
2. ТОВ «Вирівський кар'єр» (Рівненська область);
3. Клесівський кар'єр нерудних копалин «Технобуд» (Рівненська обл.);
4. ВАТ «Томашгородський щебеневий завод» (Рівненська область);
5. Виноградівський кар'єр (Закарпатська область);
6. Кар'єр ВАТ «Полонський гірничий комбінат» (Хмельницька область);
7. ТОВ «Новоград-Волинський каменедробильний завод» (Житомирська область);
8. Кар'єр ПАТ Ушицький комбінат будівельних матеріалів (Житомирська область);
9. ПАТ «Гайворонський спеціалізований кар'єр» (Кіровоградська область).

### 2.1.2 Бітум і бітумні емульсії

Залежно від рецепту бітумної емульсії в її склад включали наступні компоненти: бітум (дистиляційний, окислений, окислений модифікований), емульгатор Redicote E-11, соляну кислоту (HCl) до певного рівня рН, воду питну, спів-емульгатори Redicote 505 та Redicote 540, полімерні модифікатори Tортex А, Tортex В, Algoltex С.

Для приготування бітумних емульсій були використані такі бітуми: дистиляційний бітум Nynas 100/150 та Nybit E85 компанії Nynas (Швеція), окислений бітум БНД 60/90 виробництва ПАТ «Транснаціональна фінансово-промислова нафтова компанія Укртатнафта» (Україна, м. Кременчук), окислений бітум БНД 60/90 виробництва ВАТ «Мозирський НПЗ» (Республіка Білорусь) та модифікований окислений бітум БНД 60/90 з ІКС на основі БНД 60/90 ПАТ «Транснаціональна фінансово-промислова нафтова компанія Укртатнафта».

### 2.1.3 Модифікатори бітумів та емульгатори для бітумних емульсій

Як сировину для одержання ІКС використовували фракцію з межами википання 140-190 °С, яка одержана з широкої інде-кумаронової фракції (ІКФ). Методика отримання ІКС наступна: перед процесом коолігомеризації ІКФ, піддавали попередній обробці, яка полягає в осушенні і видаленні піридинових основ за допомогою 72 %-ї сульфатної кислоти. Це дає змогу зменшити витрату каталізатора та збільшити вихід і температуру розм'якшення ІКС. Підготовлену сировину вміщували в реактор, фіксуючи умови процесу (тривалість і температуру, кількість каталізатора) та за перемішування проводили олігомеризацію. Одержаний продукт промивали водою до нейтральної реакції. Непрореаговану сировину очищали від ІКС вакуумною дистиляцією.

БНД з ІКС готували у наступній послідовності: відбирали необхідну кількість бітуму, розігрівали його до температури 160 °С, після чого додавали модифікатор і проводили перемішування за допомогою лопатевої мішалки зі швидкістю 800 об/хв. протягом однієї години [139,140].

В кінцевому варіанті БНД з ІКС складався із: БНД 60/90 «Укртатнафта» – 85 мас.%, ІКС – 7 мас. % та пластифікатора (гудрону західноукраїнських нафт) – 8 мас. %. ІКС виготовляли на кафедрі хімічної технології переробки нафти та газу Національного університету «Львівська політехніка».

Емульгатором для бітумних емульсій була вибрана рідка, розчинна у воді ПАР – четвертинний амін Redicote E-11 виробництва компанії Akzo Nobel (Швеція), яка є популярною на українському ринку.

Емульгатор Redicote E-11 призначений для катіонних повільнорозпадних емульсій, що застосовуються в технології ЛЕМС та в технології органо-мінеральних сумішах з фрезерованих матеріалів, виготовлених за методом холодного ресайклінгу.

Фізичні властивості емульгатора Redicote E-11 згідно з технічною інформацією Akzo Nobel [122] наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

## Фізичні властивості емульгатора Redicote E-11

Назва показника	Характеристика
Зовнішній вигляд при 20 °С	Прозора рідина
Густина при 20 °С при кг/м <sup>3</sup>	890
Межа текучості, °С	-20
Температура, °С	13
В'язкість при 20 °С, сР (сантіпуаз)	52
В'язкість при 10 °С, сР	113

Для створення кислотного середовища та для досягнення заздалегідь відомого водневого показника рН бітумної емульсії використали 12% розчин соляної кислоти.

Як прискорювачі швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС на основі окислених бітумів були використані спів-емульгатор Redicote 505 та Redicote 540, що розроблені компанією Akzo Nobel відділом Asphalt Applications. Типові фізичні властивості цих спів-емульгаторів згідно з технічною інформацією Akzo Nobel [122] наведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2

## Типові фізичні властивості спів-емульгаторів Redicote 505 та Redicote 540

Назва показника	Характеристика	
	Redicote 505	Redicote 540
Зовнішній вигляд при 20 °С	Рідина жовтого кольору	Рідина світло жовтого кольору
Густина при 20 °С при кг/м <sup>3</sup>	905	940
Межа текучості, °С	-17	0
Температура спалаху, °С	34	> 200

Як полімерні модифікатори були використані синтетичні латекси Tortex A і Tortex B і натуральний латекс Algoltex C компанії Algol Chemicals (Фінляндія). Полімерний модифікатор – латекс є водною дисперсією полімеру, що спеціально підібрана для модифікації емульсій. Він може бути включений або в водну, або в бітумну фазу БЕ або доданий в готову емульсію. Латекси продукуються в

катіонній, неіоногеній і аніонній формі. Важливо щоб тип латексу відповідав класу емульсії.

Toptex A і Toptex B є латексним SBR-полімером (стирол-бутадієновий синтетичний каучук). Ці продукти спеціально розроблені для використання в ролі модифікатора катіонних бітумних емульсій. При змішуванні продукту з катіонною бітумною емульсією утворюється стійка однорідна суміш. Вони модифікують залишковий бітум в емульсії, підвищуючи в'язкість, теплостійкість та когезійну міцність бітумів, надають йому еластичності, покращують низькотемпературні властивості. Ці синтетичні латекси додаються до складу бітумної емульсії, як правило, шляхом введення до вже готової та охолодженої емульсії. Вміст стиrolу в латексах:  $24\% \pm 1\%$ , вміст бутадієну:  $76\% \pm 1\%$ .

Algoltex C – є модифікованим натуральним каучуковим латексом, рецептура котрого розроблена з метою забезпечення сумісності із катіонними бітумними емульсіями. Він може використовуватись у чистому вигляді або може бути розчинений у 5% розчині соляної кислоти. Введення 2-5% латексу в катіонну бітумну емульсію підвищує стійкість, подовжує тривалість терміну служби та покращує експлуатаційні якості поверхневого шару зносу автодоріг за рахунок підвищення пружності за низьких температур, зниження деформації за високих температур.

Типові властивості латексів Toptex A, Toptex B, Algoltex C згідно з технічною інформацією компанії Alcol Chemicals [141] наведені в табл.2.3.

Таблиця 2.3

Типові властивості латексів

Назва показника	Toptex A	Toptex B	Algoltex C
Зовнішній вигляд	білий	білий	білий
Загальний вміст сухої речовин, %	$64 \pm 1$	$64 \pm 1$	$\approx 65$
Водневий показник рН	4,5-5,5	4,5-5,5	$\approx 4,5$
В'язкість по Брукфільду, сР (сантіпуаз)	500-2000	500-2000	$\approx 800$
Густина, г/м <sup>3</sup>	$0,95 \pm 2 \%$	$0,95 \pm 2 \%$	-



### **2.1.4 Інші складники ЛЕМС**

Як мінеральний наповнювач виступив портландцемент ПЦ ІІ/А-ІІІ-400 ПАТ «Миколаївцемент» (Україна, м. Миколаїв) згідно з ДСТУ Б В.2.7-46, як регулятор розпаду суміші або регулююча добавка (присадка) було використано 10 %-й водний розчин емульгатора Redicote E-11. Для регулювання рухливості суміші також додавали питну воду.

## **2.2 Методи досліджень**

ЛЕМС бітумно-емульсійна система, що потребує якісного контролю всіх сировинних компонентів не лише за допомогою традиційних методів випробувань, а і за рядом специфічних випробувань. Тому доцільно підібрати саме ті методи досліджень, які б в повній мірі могли охарактеризувати властивості матеріалів для ЛЕМС та самої суміші.

### **2.2.1 Методи досліджень бітумів та бітумних емульсій**

Бітум окислений не модифікований для приготування бітумних емульсій випробовували згідно з ДСТУ 4044-2001 [134], дистиляційний – СОУ 45.2-00018112-069:2011 [135], окислений модифікований полімером – ДСТУ Б В.2.7-135:2014 [138] за фізико-механічними показниками: глибиною проникності голки (пенетрацією) за температури 25°C, температурою розм'якшеності за кільцем і кулю, розтяжністю (дуктильністю) за температури 25 °C, температурою крихкості, зчеплюваність із поверхнею скла та вмістом парафінів.

Фізико-механічних властивості бітумів визначали за показниками та методами контролю наведеними в табл. 2.4

Також визначали структурні типи бітумів за критерієм групового хімічного складу (ГХС). ГХС бітумів визначали за методом Маркуссона [148].

Огляд літературних даних [149-152] говорить про те, що існує три структурні типи бітумів (рис. 2.1).

## Визначені показники бітумів та їх методи контролю

Назва показника	Метод контролю
1. Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, ·0,1 мм	По ГОСТ 11501-78 [142]
2. Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	По ГОСТ 11506-73 [143]
3 Розтяжність (дуктильність), см, за температури 0 °С за температури 25 °С	По ГОСТ 11505-75 [144]
4. Температура крихкості, °С	По ГОСТ 11507-78 [145]
5. Масова доля парафіну, %	По ГОСТ 17789-72 [146]
6. Індекс пенетрації	Згідно з 8.7 ДСТУ 4044 [134]
7. Зчеплюваність із поверхнею скла (Зч. із склом), %	ДСТУ Б В.2.7-81-98 [147]

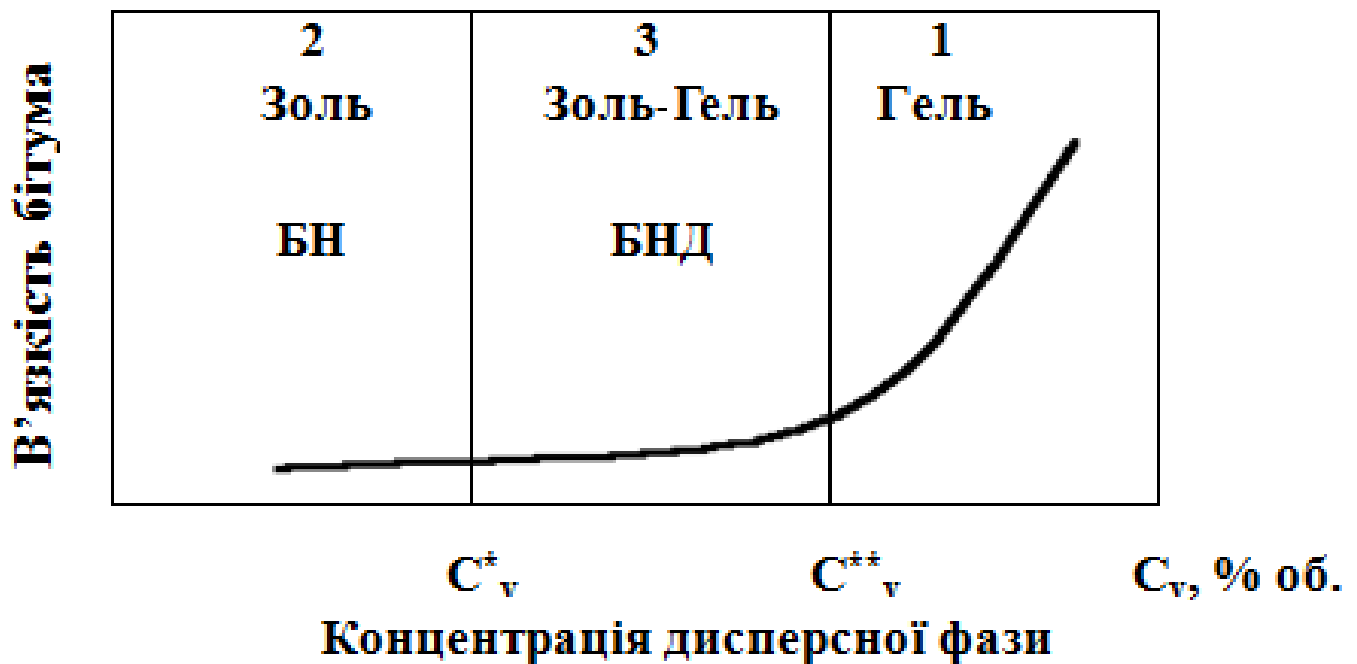


Рис. 2.1. Крива структуроутворення бітумів

Критерієм поділу є вміст і властивості асфальтенів і мальтенів (смола та масел). Такий поділ підтверджений адсорбційно-хроматографічним аналізом дорожніх бітумів, за допомогою якого можна побачити, що по сумарному вмісту основних компонентів (асфальтени, смоли і масла) всі бітуми, незалежно від нафти – вихідної бітумної сировини та технологічного способу їх одержання,

можна поділити на 3 різні типи. Розподіл бітумів на структурні типи за критерієм ГХС наведено в табл.2.5 (за даними А.С. Колбановської, та В.В. Михайлова [149]).

Таблиця 2.5

## Структурні типи бітумів за критерієм ГХС

Структурний тип	Груповий хімічний склад, % мас.			Відношення, *100%	
	Асфальтени (А)	Смоли (С)	Масла (оливи) (М)	$\frac{А}{А+С}$	$\frac{А}{С+М}$
1 – Гель	>25	<24	>50	>50	>35
2 – Золь	<18	>35	≤47	<34	<22
3 – Золь-Гель	21-23	30-34	45-49	39-49	25-30

Також для кожного з бітумів був визначений структурний тип за допомогою розрахункових критеріїв. Найпростішим з них є інтервал пластичності бітуму (ІП). Такий критерій є алгебраїчною сумою температур розм'якшення та крихкості бітуму ( $ІП = T_{роз} - T_{кр}$ ). У відповідності з цим показником бітуми з інтервалом пластичності  $ІП \geq 75$  °С можуть бути віднесені до типу «гель», бітуми з інтервалом пластичності  $ІП \leq 55$  °С – до типу «золь». Проміжний структурний тип «золь-гель» має інтервал пластичності  $ІП = 55 - 75$ °С [93].

У західноєвропейських країнах для розподілення в'язких бітумів на структурні типи широко використовують запропонований Ж.Ф. Прейфером та П.М. Дормалем індекс пенетрації (ІР), який базується на врахуванні температурної залежності пенетрації, яка дуже чутлива до групового складу бітуму.

Відповідно до стандартів країн Європейського Союзу – EN 12591 [152] індекс пенетрації визначають за формулою:

$$IP = \frac{20 \times T_p + 500 \times Lg\Pi_{25} - 1952}{T_p - 50 \times Lg\Pi_{25} + 120} \quad (2.1)$$

де  $T_{роз}$  – температура розм'якшення, °С;

$\Pi_{25}$  – пенетрація при 25 °С в 0,1 мм.

Бітуми з ІР меншим мінус 1,0, умовно можуть бути віднесені до типу «золь», з ІР більшим плюс 1,0 – до типу «гель», а бітуми з ІР від мінус 1,0 до плюс

1,0 – до типу «золь-гель». Об'єктивність цього критерію обумовлена відповідністю температури розм'якшення бітуму до температури, при якій пенетрація бітуму дорівнює  $800 \times 0,1$  мм.

Своєю чергою, з метою спрощення дослідів, необхідних для визначення структурного типу бітуму проф. В. А. Золотарьовим був запропонований коефіцієнт який обчислюється за формулою, що враховує стандартні показники властивостей бітуму: температуру розм'якшення ( $T_p$ ), температуру крихкості ( $T_{кр}$ ) та дуктильність ( $D$ ) при  $25^\circ\text{C}$  [93]:

$$K_{стд} = \frac{(T_p - T_{кр}) \times L}{25 \times D} \quad (2.2)$$

де  $L$  – довжина (3 см) шийки форми зразка «вісьмірки» для визначення дуктильності бітуму;

25 – температура, при якій відбувається визначення дуктильності,  $^\circ\text{C}$ .

Значення цього коефіцієнту знаходиться в тісній кореляційній залежності з індексом колоїдної нестабільності  $S$ . Гастеля, який визначають за формулою:

$$I_{кч} = \frac{A + УП}{C + УА} \quad (2.3)$$

де  $A$ ,  $УП$ ,  $УА$ ,  $C$  – процентний вміст асфальтенів, парафінових, ароматичних вуглеводнів та смол відповідно.

З врахуванням цього зв'язку визначені межі показника стандартних властивостей ( $K_{стд}$ ), за якими розділяють бітуми на різні структурні типи. Бітуми з  $K_{стд} > 0,13$  відносять до типу «гель», бітуми з  $K_{стд} < 0,08$  є системи з структурою типу «золь», а бітуми з проміжними значеннями цього показника є системами типу «золь-гель».

Накопичені до цього часу дані свідчать про принципові відмінності технічних та реологічних властивостей бітумів, що належать до різних структурних типів (табл.2.6) [93].

Таблиця 2.6

Властивості бітумів різних структурних типів за  $K_{\text{СТД}}$  В.А.Золотарьовим [93]

Склад і властивості в'язких бітумів	Тип бітуму при однаковій пенетрації		
	гель $K_{\text{СТД}} > 0,13$	золь $K_{\text{СТД}} < 0,08$	перехідний «золь-гель» «гель-золь» $K_{\text{СТД}} = 0,08 - 0,13$
Вміст, %			
Асфальтенів	Багато	Мало	Володіють проміжними складом та властивостями
Смол	Мало	Багато	
Масел ароматичних	Мало	Багато	
Масел парафінно-нафтених	Багато	Мало	
Істинна в'язкість не зруйнованої структури	У 10-100 разів більше, чим у бітумів типу «золь»	У 10-100 разів менше, чим у бітумів типу «гель»	
Залежність в'язкості від швидкості зсуву	Дуже сильна	Слабка	
Границя зсувної міцності	Значна	Мала	
Температурна залежність в'язкості	Значна	Помірна	
Тискотропні властивості	Сильно виражені	Слабо виражені	
Амплітудна чутливість модуля пружності	Сильна	Слабка	
Температурна і частотна залежність модулів пружності	Полога	Значна	
Розтяжність при: 25 °С 0 °С	Низька Значна	Значна Низька	
Температура розм'якшеності	Висока	Низька	
Температура крижкості	Низька	Висока	
Інтервал пластичності	Широкий	Вузкий	
Індекс пенетрації	Великий	Малий	
Стійкість проти старіння	Низька	Висока	

Порівняння значень розрахункових показників за якими встановлюється структурний тип бітумів наведений в табл 2.7.

Таблиця 2.7

## Розрахункові показники визначення структурного типу бітуму

Структурний тип бітуму	Значення розрахункових критеріїв визначення структурного типу бітуму		
	Інтервал пластичності (ІП), °С	Індекс пенетрації (ІР)	Показник В.А.Золотарьова ( $K_{стд}$ )
1. Гель	$\geq 75$ °С	більший + 1,0	$> 0,13$
3. Золь-Гель	$55 - 75$ °С	від -1,0 до + 1,0	$0,08 - 0,13$
2. Золь	$\leq 55$ °С	менший -1,0	$< 0,08$

Бітумні емульсії випробовували згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [93] за фізико-технічними показниками: визначення зовнішнього вигляду емульсії, визначення показника концентрації водневих іонів, визначення однорідності емульсії, визначення умовної в'язкості, визначення стійкості при зберіганні, визначення зчеплюваності в'язучого, виділеного з емульсії, з поверхнею щебеню, визначення змішуваності емульсії з мінеральними матеріалами, визначення індексу розпаду.

Для визначення дисперсності емульсій використали метод статичного розсіювання світла (лазерної дифракції). В аналізаторах розмірів частинок, що використовують статичне розсіювання світла, зразок емульсії просвічується лазерним променем. Краплинки в паралельному лазерному пучку розсіюють світло на постійний кут, величина якого залежить від діаметра краплинки. Лінза збирає розсіяне світло на фотодетектор, що встановлений у фокальній площині. Не розсіяне світло завжди сходиться у фокальній точці на оптичній осі. Через розсіювання лазерного променя позаду проби виникає характерний, кільцеподібний розподіл інтенсивності світла, який сприймається детектором. По відстані між цими кільцями (або відповідному куту розсіювання) розраховується розмір краплинок: великі краплинки створюють тісно розташовані кільця (малі кути розсіювання), маленькі краплинки – кільця, що розташовані ширше (великі кути розсіювання). Для розрахунку розміру краплинок та розподілу їх за

розмірами застосовується теорія Фраунгофера або теорія Мі [154]. Лазерний дифракційний аналіз бітумних емульсій провели за допомогою седиментографа Mastersizer 2000 компанії Malvern Instruments (Англія), (рис.2.2).



Рис. 2.2 Седиментографа Mastersizer 2000

Визначення загального вмісту сухої речовини в натуральному латексі Algoltex С та в синтетичних латексах Tортex А і Tортex В проводили згідно з ГОСТ 28862-90 [155].

### **2.2.2 Методи досліджень кам'яного матеріалу**

Підбір зернового складу кам'яного матеріалу для кожного з типів проводили за допомогою автоматичної ситової вібраційної установки Retsch (рис. 2.3).



Рис.2.3 Автоматична ситова вібраційна установка Retsch

Для оперативного оцінювання придатності кам'яного матеріалу для використання в ЛЕМС та встановлення його загальної поверхневої активності використали метод адсорбції метилену синього (МС) згідно з СОУ [132]. Показник метилену синього за цим методом контролю повинен бути в межах 5-10 мл. Цей метод дає можливість виміряти здатність заповнювача до адсорбції метилену синього та характеризує загальну поверхневу активність мінералів, глинистих часток і органічних домішок в ньому. Високі значення метилену синього і, відповідно, висока поверхнева активність викликають прискорену реакцію заповнювача з бітумними емульсіями, що може привести до передчасного розпаду суміші або поганого зчеплення (адгезії) [132].

Порядок проведення випробування з визначення адсорбції метилену синього проілюстровано на рис. 2.4.

Рентгенофазовий аналіз відсіву (фракція  $<0,071$ ) проводили методом порошків на дифрактометрі ДРОН-2.0 за  $\text{CuK}\alpha$ -випромінюванні [166].



Рис. 2.4 Порядок проведення випробування з визначення адсорбції метилену синього



Гранулометричний склад відсіву визначали за допомогою лазерного аналізатора зернистості. Аналізатори призначені для визначення розподілу частинок за розмірами за допомогою лазерної дифракції, використовуючи фізичний принцип розсіювання електромагнітних хвиль. Частинки в паралельному лазерному промені розсіюють світло на постійний кут, величина якого залежить від діаметра частинок. За допомогою комплексної математичної обробки розподілу інтенсивності розсіяного світла можна розрахувати розподіл частинок за розмірами серед частинок, що розсіюються. У результаті одержують діаметр частки лазерної дифракції, діаметр якої еквівалентний кулі з однаковим розподілом розсіяного світла [157]. Аналіз провели за допомогою седиментографу Mastersizer 2000 E компанії Malvern Instruments (Англія). Робота приладу базується на явищі дифракції (заломлення й поглинання) лазерного променя частиночками досліджуваних зразків. Седиментограф Mastersizer 2000 працює використовуючи оптичний елемент щоб виміряти дійсне розсіяння променів на зразку. Джерелом світла є два твердотільних рубінових лазери, один працює в червоному спектрі, а другий — у синьому. Це потрібно для збільшення роздільної здатності приладу. Потрапляючи на зразок, лазер частково поглинається, а частково розсіюється. Розсіяне проміння фіксується рядом детекторів і обробляється програмним забезпеченням [158]. В загальному вимірювання складалося в проходженні проби порошкоподібного матеріалу перпендикулярно лазерного пучка і визначення розподілу дисперсності за розмірами в дифракційному спектрі.

### **2.2.3 Методи досліджень ЛЕМС**

ЛЕМС випробовували згідно з міжнародними нормами ISSA A105 [56], ISSA A143 [57] та вітчизняним СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132] за показниками: розпаду суміші, границя міцності на зсув, втрати маси матеріалу за вологого зносу покриття (ВМВЗ).

Границю міцності на зсув визначали внаслідок встановлення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС шляхом формування відповідних зразків суміші

та випробування їх через певні періоди часу за допомогою модифікованого когезійного приладу (рис. 2.5). Випробуванні зразки з ЛЕМС класифікували не лише за значенням крутного моменту, а і за характером руйнування на типи (рис.2.6):

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 2.5 Модифікований когезійний прилад та кільця-форми

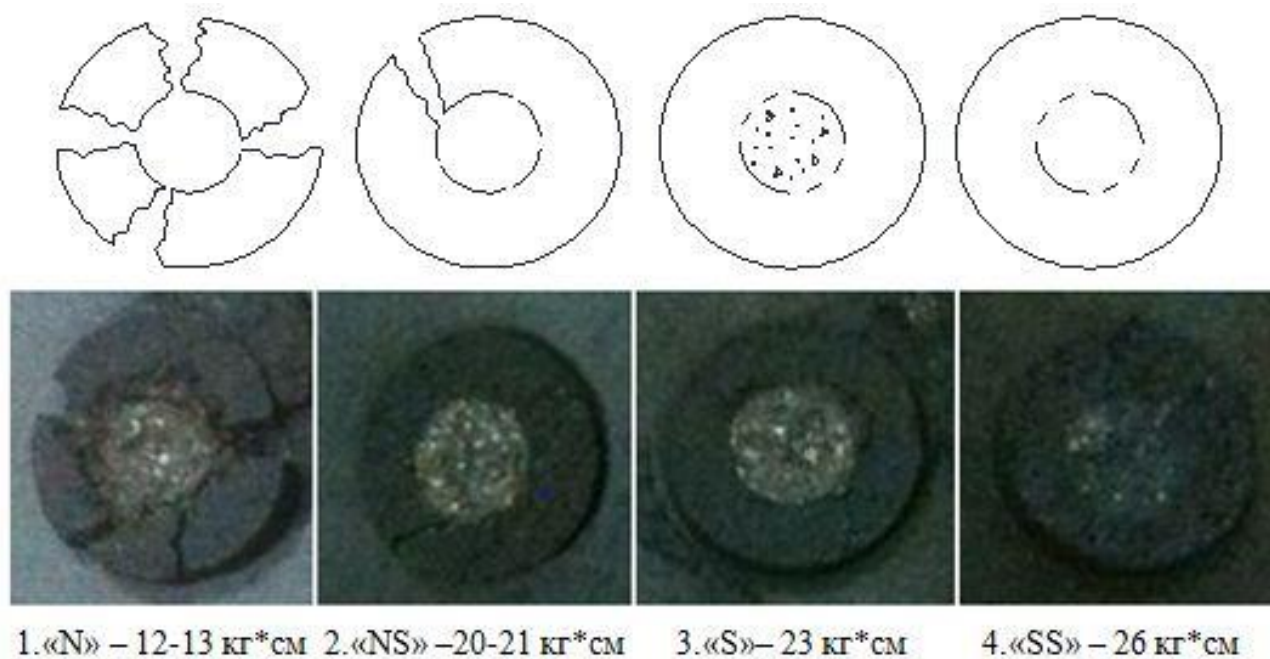


Рис.2.6 Типи руйнування зразків з ЛЕМС

## 2.2.4 Нові методи оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС

Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС залежить від низки чинників, одним з яких є взаємодія компонентів ЛЕМС під час виготовлення суміші. За оптимально підбраного складу вирішальним, з огляду на швидкість формування ЛЕМС, є процес взаємодії в'язучого і мінеральної частини суміші, а саме кінетика процесів розпаду суміші та бітумної емульсії.

Під час оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС було виділено такі основні стадії взаємодії катіонної бітумної емульсії з кислим мінеральним матеріалом в процесі формування ТП.

Перша стадія – змішування та перемішування всіх компонентів ЛЕМС. Бітумна емульсія контактує, покриває, змочує та огортає зерна мінеральних матеріалів, при цьому утворена суміш зберігає рідку консистенцію та є рухливою та текучою. На початку цієї стадії вільний емульгатор, який існує в бітумній емульсії або емульгатор, що був доданий до ЛЕМС під час виготовлення у вигляді регулятора часу розпаду, першим починає рух по напрямленню до негативно заряджених частинок мінерального матеріалу та адсорбується на них. При цьому

шар катіонного емульгатора, що адсорбований на поверхні крапель бітуму в емульсії, притягує їх до мінерального матеріалу з протилежним зарядом (явище електрофорезу). Досягаючи заданої цілі краплі починають концентруватись на поверхні мінерального матеріалу.

На початку другої стадії консистенція ЛЕМС внаслідок перемішування суміші та взаємодії бітумної емульсії з матеріалами стає густішою, але суміш зберігає рухливість та легкоукладальність. Завершенням цієї стадії є розпад ЛЕМС – момент часу, коли суміш втрачає рухливість і можливість подальшого перемішування. Саме критерій розпаду визначає час, протягом якого суміш повинна бути виготовлена і укладена в ТП. На цій стадії спостерігається коалесценція бітумних крапель емульсії, тобто зменшення прошарків водної фази між ними, і загустіння суміші.

Початок третьої стадії характеризується утворенням агрегатів (глобул) окремих крапель бітуму в емульсії, які зливаються одна з одною та створюють бітумну губчасту плівку на поверхні мінерального матеріалу. Механічний вплив на утворене з'єднання «бітум-емульгатор-мінеральний матеріал» призведе до його руйнування. Далі відбувається наростання когезійної міцності ЛЕМС за рахунок розпаду емульсії тобто спостерігається відокремлення бітумних частин від води і утворення безперервної бітумної плівки. На даній стадії починається попереднє схоплювання суміші. Але у разі несприятливих кліматично-погодних умов чи за дії температурно-вологісних чинників або при механічному впливі можливе утворення пухкої бітумної плівки, що не призведе до наростання когезійної міцності.

На четвертій стадії у разі відсутності перелічених несприятливих умов, утворюється суцільна бітумна плівка, відбувається остаточний розпад емульсії та схоплювання суміші із досягненням границі міцності на зсув не менше ніж 0,26 МПа.

П'ята стадія характеризує етап самоущільнення ЛЕМС із досягненням границі міцності на зсув не менше ніж 0,42 МПа. На цій стадії можливе ущільнення суміші котками або відкриття руху транспортних засобів по ТП з

обмеженням швидкості до 40 км/год та заборонаю розвороту та різкого гальмування.

Шоста стадія характеризує етап ущільнення ЛЕМС із досягненням границі міцності на зсув не менше ніж 0,48 МПа.

Сьома стадія характеризує етап затвердіння ЛЕМС із досягненням границі міцності на зсув не менше ніж 0,55 МПа. На цій стадії можливе відкриття руху транспортних засобів без обмежень. Після даного етапу протікає етап остаточного набору когезійної міцності (доущільнення).

Таким чином, швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС визначається процесами перерозподілу ПАР – емульгаторів на межах розділу фаз бітум – мінеральний матеріал.

Було запропоновано нові методики оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС: початок набору когезійної міцності (ПКМ) – (комкування) та експрес-методика визначення формування суміші (ФС).

За початок набору когезійної міцності вважаємо інтервал часу від розпаду суміші до моменту її переходу в квазітвердий стан. Суміш переходить в квазітвердий стан після втрати рухливості і можливості подальшого перемішування, коли вона починає збиватись у грудки, комки (комкується). Цей процес відбувається в межах наведеної третьої стадії взаємодії бітумної емульсії з мінеральним матеріалом. В лабораторних умовах час початку набору когезійної міцності запропоновано встановлювати коли на шпателі можливо сформувати і утримати комок (грудку) із утвореної суміші в продовж декількох секунд (рис. 2.7). 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 шлагоукладальником 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, пізніє 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.



Рис. 2.7 Початок набору когезійної міцності ЛЕМС

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. Якщо це відбудеться пізніше виготовленій ЛЕМС буде властива низька швидкість набору когезійної міцності.

Експрес-методика визначення формування суміші дає можливість швидко оцінити чи підібраний склад за критерієм розпаду буде оптимальним за критерієм швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС. Цей метод не вимагає формування зразків у відповідних кільцях-формах та випробуванні їх через певні періоди часу

за допомогою когезійного приладу, як стандартний метод. Експрес-методика полягає у виготовленні кулі із ЛЕМС одразу після розпаду суміші. Кулю утворюємо стискаючи суміш руками, видавлюючи з суміші всю можливу воду. Формування вважається завершеним, коли не спостерігається видалення води з кулі. 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, запроектований склад ЛЕМС попередньо є непридатним з огляду на розвиток процесу формування 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. Експрес-методика визначення формування суміші проілюстрований на рис.2.7-2.8.



Рис.2.8 Формування кулі з ЛЕМС



Рис.2.9 Негативний та позитивний результат випробування кулі (зліва на право)

## 2.3 Блок-схема дослідження

Послідовність проведення експериментальних досліджень було проілюстровано за допомогою блок-схеми ( рис. 2.10).

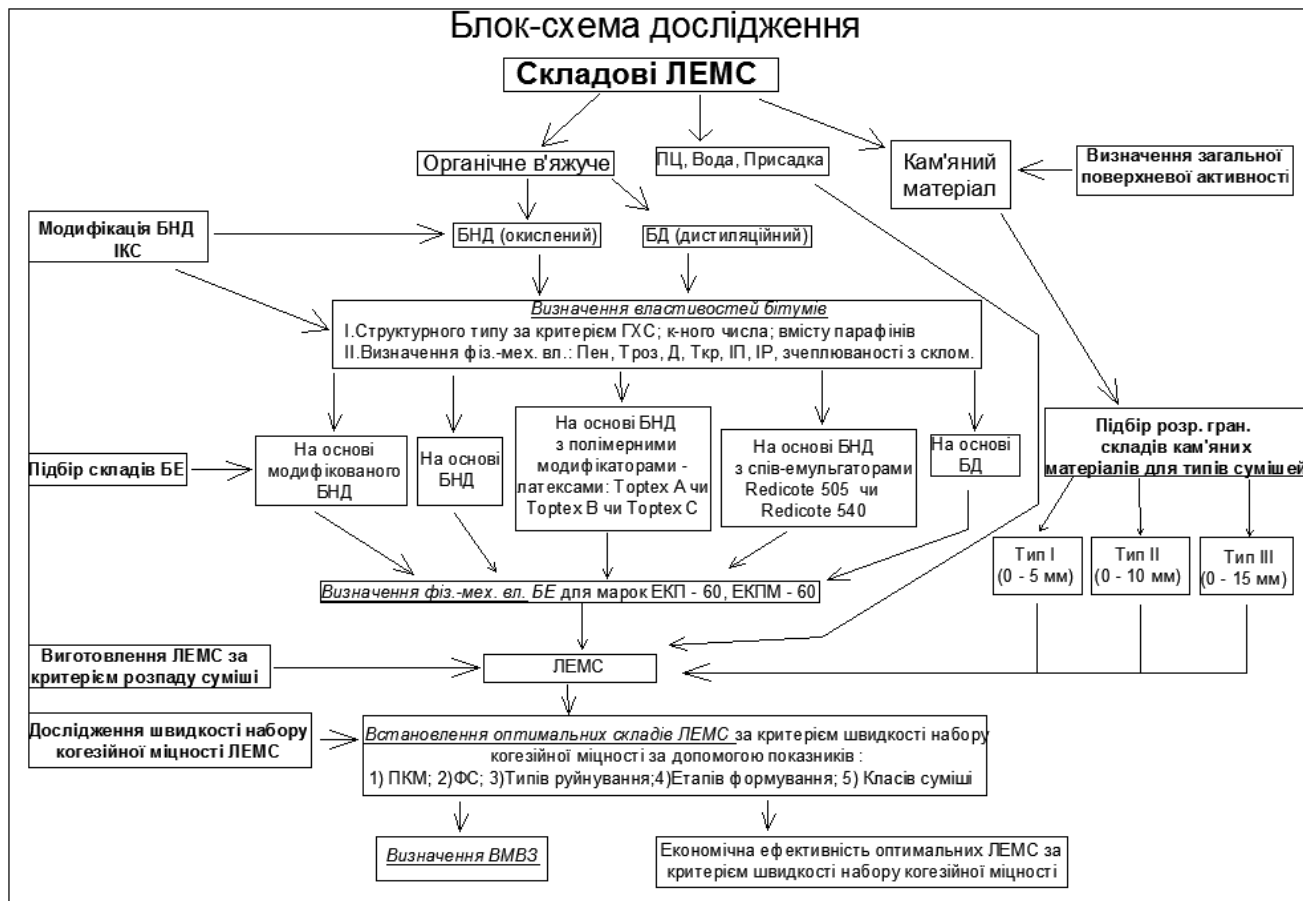


Рис. 2.10. Блок-схема досліджень

Особливу увагу під час розробленню блок-схеми було приділено органічному в'язучому та кам'яному матеріалові. Щодо в'язучого то на першому етапі пропонуємо визначати такі характеристики бітуму, як структурний тип за критерієм ГХС, кислотне число, вміст парафінів, а на другому – фізико-механічні характеристики, а саме penetрацію за температури 25°C ( $P_{25}$ ), температуру розм'якшеності ( $T_{роз}$ ), дуктильність ( $D_{25}$ ), температуру крихкості ( $T_{кр}$ ), інтервал пластичності (ІП), індекс penetрації (ІР), зчеплюваність із склом. За використання окисленого бітуму пропонуємо модифікувати його інденокумароновою смолою з наступним визначенням наведених характеристик. Іншим впливом на окислений бітум є варіант включення в склади бітумних емульсій



спів-емульгаторів Redicote 505 чи Redicote 540 або полімерних модифікаторів (латексів) Tortex A чи Tortex B чи Algoltex C. За використання дистиляційного бітуму з високим кислотним числом стверджуємо у відсутності потреби модифікації чи включення інших реагентів у в'язуче. Наступним кроком є визначення фізико-технічних показників бітумних емульсій для запроєктованих марок. В свою чергу паралельно під час дослідження бітумів та емульсій на його основі визначаємо придатність кам'яного матеріалу для ЛЕМС за критерієм загальної поверхневої активності та підбираємо розрахункові гранулометричні склади для кожного з типів суміші. Після дослідження основних компонентів ЛЕМС приступаємо до проектування складу суміші за критерієм розпаду із включенням портландцементу, води та присадки. Після чого досліджуємо ЛЕМС за критерієм швидкість набору когезійної міцності та встановлюємо оптимальні склади за цим критерієм за допомогою показників початку набору когезійної міцності суміші, формування суміші, типів руйнування та етапів формування та класу суміші. Після чого визначаємо втрати маси за вологого зносу покриття та економічну ефективність оптимальних складів ЛЕМС за критерієм швидкість набору когезійної міцності.

## **2.4 Висновки до розділу**

1. Охарактеризовано використання сировинні матеріали для ЛЕМС та приведено стандартні методи досліджень, що стосуються складників ЛЕМС та самих сумішей.
2. Виділено сім основних стадій взаємодії катіонної бітумної емульсії з кислим мінеральним матеріалом в процесі формування ТП.
3. Запропоновано нові методики оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС за допомогою двох нових показників: початок набору когезійної міцності (комкування) та експрес-показник формування суміші.

## **РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЛЕМС**

ЛЕМС багатокomпонентна складна система, яка складається з матеріалів органічного та мінерального походження. Кожен з матеріалів має низку притаманних йому властивостей, які безпосередньо чи опосередковано впливають на швидкість набору когезійної міцності композиту. Тому від правильного добору матеріалів залежатиме кінетика набору когезійної міцності ЛЕМС.

Бітумна емульсія, кам'яний матеріал, цемент, вода та регулятор розпаду є визначальними компонентами ЛЕМС. Тому потрібно виважено добирати ці складники ЛЕМС для влаштування якісних ЛЕМС. Бітумна емульсія для ЛЕМС повинні бути виготовлена на оптимальних бітумах для цієї технології, що забезпечують швидке формування покриттів. Крім того емульсія бути вірної марки (ЕКП-60, ЕКП-65, ЕКП-65, ЕКПМ-60). Гранулометричний склад кам'яного матеріалу повинен бути підібраний у відповідності до певного типу ЛЕМС. А сам заповнювач має мати низьку загальну поверхневу активність виміряну за методом метилен синій. Цемент для ЛЕМС повинен бути «свіжим» для взаємодії з кислотою, що присутня в бітумній емульсії та продовженню часу розпаду суміші. Вода для ЛЕМС не повинна містити механічних домішок. Регулюючу добавку, як правило, розчин емульгатора попередньо потрібно призначати в лабораторії під час підбору складу суміші за критерієм розпаду й остаточно коригувати його вміст на місці робіт з врахуванням температури та вологості навколишнього середовища.

### **3.1 Бітуми нафтові дорожні**

За походженням та складом сировинної нафти та технологією її переробки сьогодні найпоширенішими видами дорожніх бітумів є дистиляційні (залишкові) та окислені бітуми.

Для України найбільш поширеними бітумами є окислені, але для досліджень також були взяті дистиляційні, тому що існує думка, що ці бітуми є оптимальними для технології ЛЕМС [80,81,108,109-112]. В останній час виникли сумніви в правильності пріоритетного в колишньому СРСР технологічного способу отримання бітумів шляхом окислення нафтової сировини і достатньо наполегливо звучать твердження про доцільність виготовлення і використання дистиляційних бітумів, що отримують у провідних країнах світу способом вакуумної дистиляції важкої сировини [159]. Проте під час висловлення таких сумнівів не завжди враховуються такі чинники, як погодно-кліматичні умови, особливості вихідної сировини з держав СНД та на Заході (легкі та важкі нафти), система оцінювання якостей бітумів [94].

Відтак дослідження проводили на двох окислених бітумах: БНД 60/90 виробництва ПАТ «Транснаціональна фінансово-промислова нафтова компанія Укртатнафта» (далі БНД 60/90 «Укртатнафта»), БНД 60/90 виробництва ВАТ «Мозирський НПЗ» (далі БНД 60/90 «Мозирський НПЗ») та на та БНД 60/90 «Укртатнафта», що модифікований ІКС (далі БНД 60/90 з ІКС) та на двох дистиляційних бітумах виготовлених із важкої нафти: Nynas 100/150 та Nybit E85 компанії Nynas (Швеція).

### **3.1.1 Структурний тип бітумів за критерієм групового хімічного складу (ГХС)**

Існування взаємозв'язку між складом, структурою та властивостями бітумів дає можливість передбачити поведінку в експлуатаційних умовах будь-якого бітуму, якщо визначити його структурний тип. З цією метою використовують критерій групового хімічного складу або різні розрахункові критерії.

Визначення структурного типу бітумів безпосередньо залежить від їхнього групового складу, тобто вмісту асфальтенів, смол, масел, а також їх складових. Сучасні уявлення про структуру бітумів, які ґрунтуються на основних положеннях фізико-хімічної механіки, сучасної колоїдної хімії і фізичної хімії високополімерів трактують бітум як просторову дисперсну систему, дисперсна

фаза якої – асфальтени, а дисперсне середовище – оливи і смоли. Асфальтени з ліофобно-ліофільною мозаїчною поверхнею адсорбують високомолекулярні смоли і набрякають в середовищі олів і низькомолекулярних смол [149]. Знання структурного типу бітумів дасть змогу прогнозувати їх фізичні, реологічні властивості та раціонально використовувати бітуми для різних технологій.

Структурний тип за критерієм ГХС бітумів вміст твердих парафінів, та кислотні числа визначали у Державному підприємстві «Науково-дослідний інститут нафтопереробної та нафтохімічної промисловості «МАСМА» (ДП «НДІННП «МАСМА») та на кафедрі хімічної технології переробки нафти та газу (ХТНГ) Національного університету «Львівська політехніка».

Груповий хімічний склад досліджуваних бітумів приведений в табл. 3.1

Таблиця 3.1

Структурний тип за критерієм ГХС

№ п/п	Марка бітуму	Груповий хімічний склад, % мас.					Відношення, *100%		С-ний тип за ГХС
		Виробник	Технологія одержання	Асфальтени (А)	Смоли (С)	Масла (оливи) (М)	$\frac{A}{A+C}$	$\frac{A}{C+M}$	
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

Аналізуючи табл. 3.1 та порівнюючи її з даними табл. 2.5 бітуми Nynas 100/150, за вмістом асфальтенів та відношеннями  $A/A+C$ ,  $A/C+M$ , та Nybit E85 за всіма показниками відносяться до 2-го структурного типу (золь), всі ж інші бітуми (№3-№5) за більшістю показників можна віднести до 3-го типу (золь-гель). Таке розподілення на структурні типи можна пояснити відмінностями використаної сировинної нафти та технологією одержання цих бітумів. На рис.3.1

показано вплив вмісту асфальтенів на структурний тип досліджених бітумів. Зі збільшенням асфальтенів структурний тип змінюється в такій послідовності: «золь» – «золь-гель» – «гель».

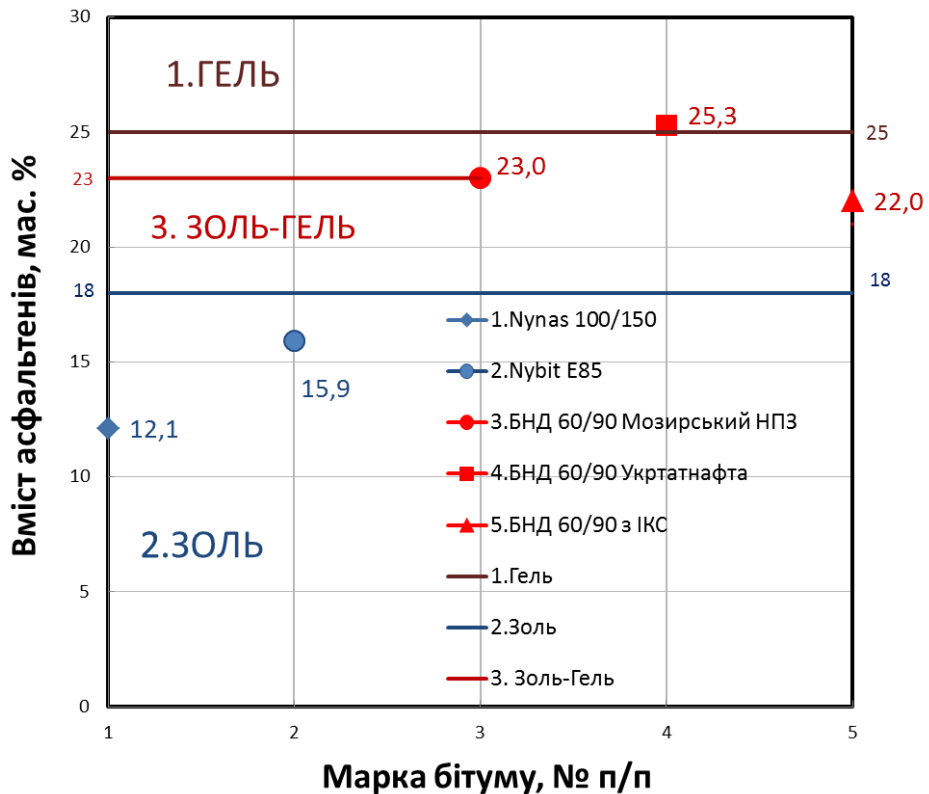


Рис.3.1 Вплив вмісту асфальтенів за критерієм ГХС на структурний тип бітумів №1-№5

За модифікування БНД 60/90 «Укртатнафта» ІКС в ГХС відбуваються певні зміни: 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» (рис.3.2)

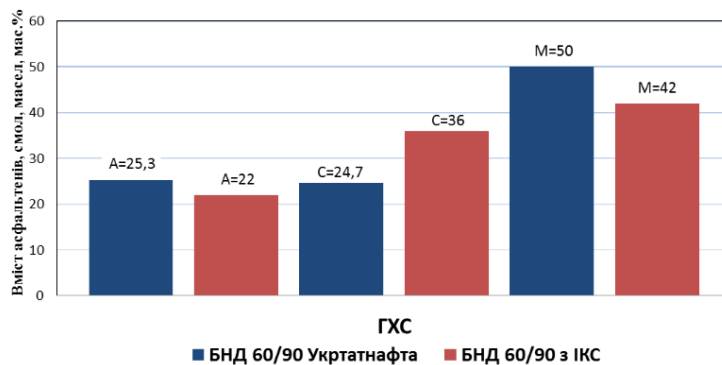


Рис.3.2 Зміна ГХС БНД60/90 «Укртатнафта» після модифікації ІКС

### 3.1.2 Фізико-механічні властивості бітумів та визначення структурного типу за допомогою розрахункових критеріїв

Фізико-механічні властивості бітумів визначали для встановлення їх відповідності чинним нормативним документам та для визначення структурного типу бітумів за допомогою розрахункових критеріїв. Визначені фізико-механічних показники бітумів приведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2

Фізико-механічні показники бітумів

№ п/п	Марка бітума	Назва та значення показників								
		T <sub>роз</sub> , °C	P <sub>25</sub> , 0,1мм	D <sub>25</sub> , см	T <sub>кр</sub> , °C	П, °C	IP	Вміст парафінів, % мас	К-не число, мг КОН/г	Зч. 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

Дослідженні дистиляційні бітуми №1-№2, відповідають маркам БД90/130 та БД60/90 згідно з СОУ 45.2-00018112-069:2011 [135], окислені не модифіковані №3-№4 – маркам БНД60/90 згідно з ДСТУ 4044-2001 [134] 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.2.7-135:2014 [136].

Більший вміст твердих парафінових вуглеводнів (парафінів) спостерігається у окислених бітумів №3-№4, значно менший – у дистиляційних бітумах №1-№2.

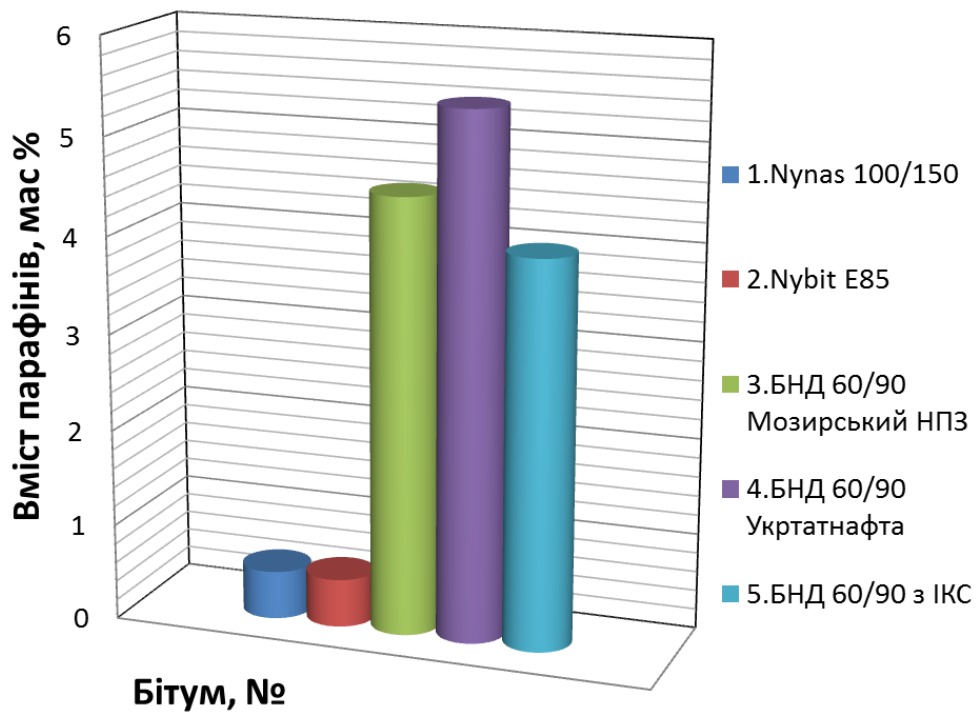


Рис.3.3 Вміст парафінів у бітумах №1-№5

Додавання до БНД 60/90 «Укртатнафта» ІКС та пластифікатора дозволили зменшити вміст парафінів у цьому бітумі в 1,35 рази (рис.3.3), та збільшити зчеплюваність бітуму із поверхнею скла в 4 рази (рис. 3.4).

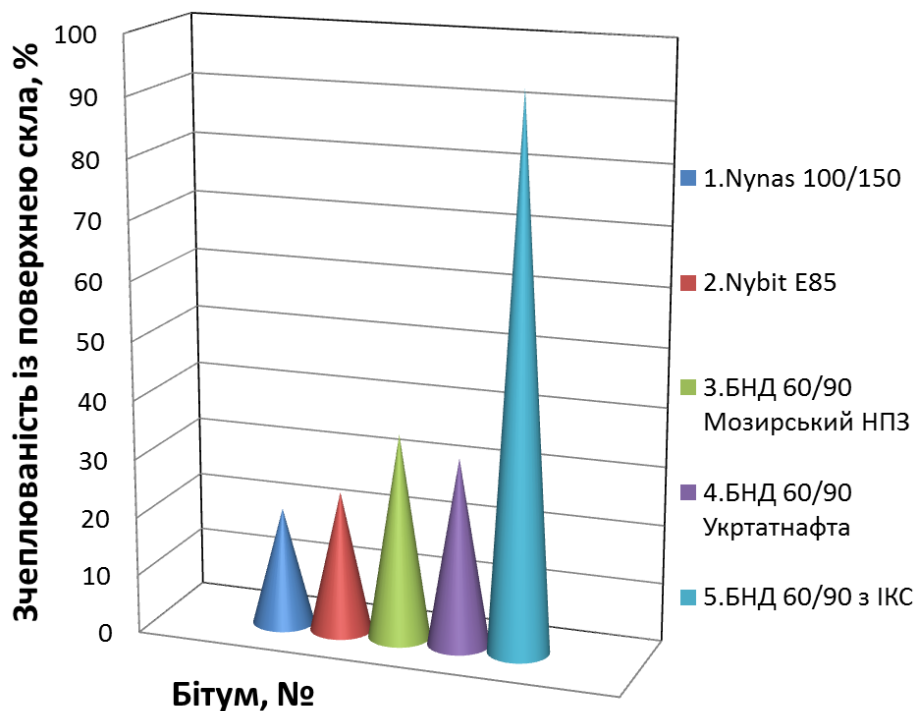


Рис. 3.4 Зчеплюваність бітумів №1-№5 із поверхнею скла

Значення інтервалу пластичності бітумів проілюстровані на рис. 3.5.

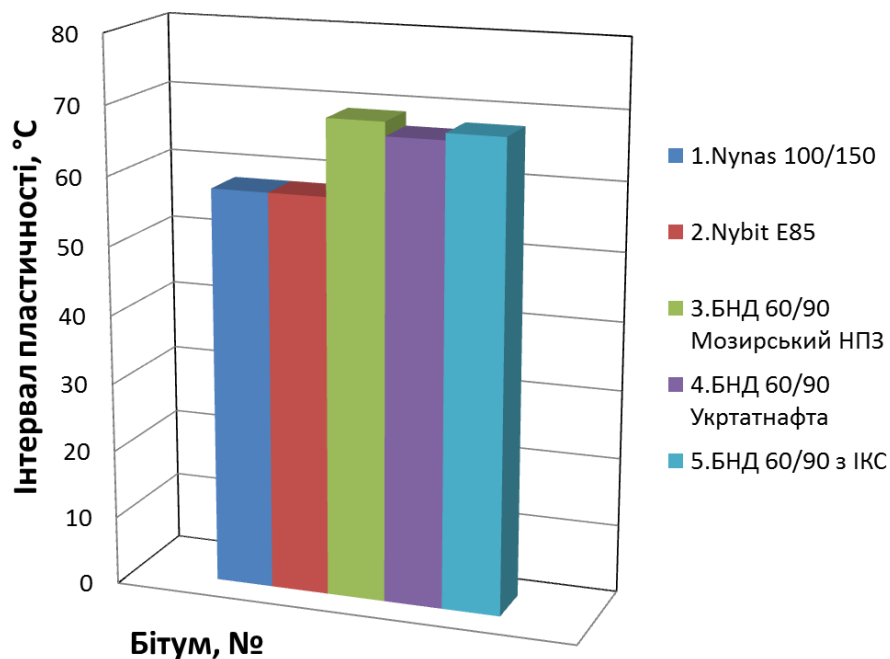


Рис. 3.5 Інтервал пластичності бітумів №1-№5

Основною відмінністю між дистиляційними бітумами виготовленої з важкої нафти і окисленими – з легкої є кислотні числа (рис. 3.6). Першим характерні високі кислотні числа ( $\approx 3,5$  мг КОН/г), а другим низькі (0,5-0,6 мг КОН/г).

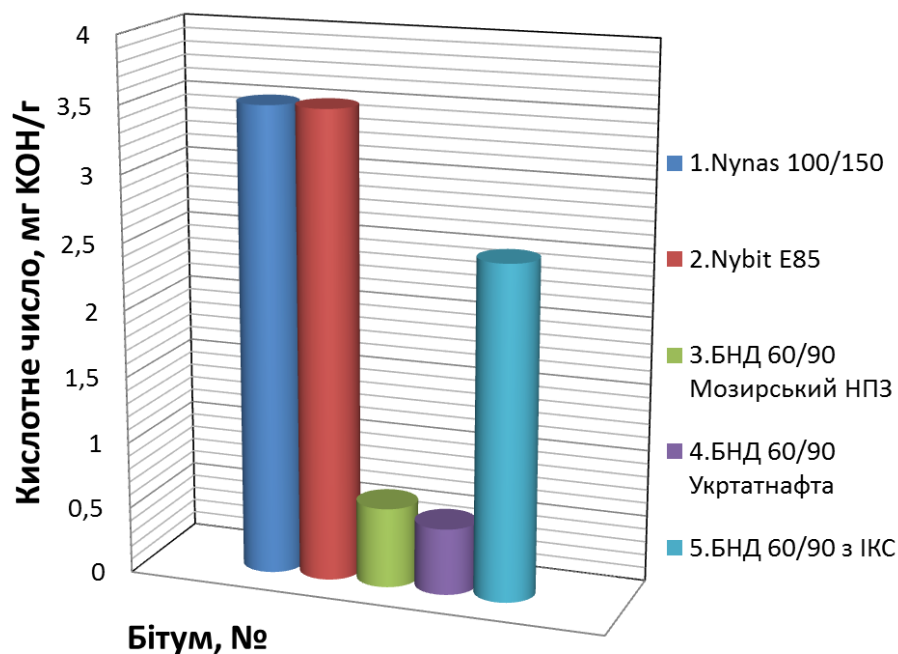


Рис. 3.6 Кислотні числа бітумів №1-№5

За даними табл.3.2 прослідковуємо, що бітуми 2-го структурного типу (золь) при відносно рівній пенетрації з бітумами 3-го структурного типу (золь-



гель), мають дещо нижчу температуру розм'якшеності, підвищену дуктильність за 25°C (переважно більше 100 см) та вміст парафінів в їх складі є незначним. Своєю чергою перехідний структурний тип бітумів «золь-гель» володіє більш широким інтервалом пластичності (рис.3.5) за рахунок низької температури крихкості та більш високої температури розм'якшеності.

Модифікування БНД 60/90«Укртатнафта» та отримання БНД 60/90 з ІКС призвело до значного підвищення зчеплюваності бітуму із склом, збільшення температури розм'якшеності бітуму за збереження пенетрації, що відповідає марці 60/90, збільшилось кислотне число бітуму з 0,5 мг КОН/г до 2,5 мг КОН/г дещо зменшилась температура крихкості та значно зменшилась дуктильність.

Після визначення фізико-механічних показників бітумів було встановлено структурний тип бітумів за допомогою наступних розрахункових критеріїв: інтервал пластичності, індекс пенетрації, показник  $K_{стд}$  В. А. Золотарьова. Порівняння між визначеним структурним типом бітумів за критерієм ГХС та структурними типами, що були визначені за допомогою розрахункових критеріїв наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Структурні типи бітумів за критерієм ГХС та за розрахунковими критеріями

№ п/п	Марка бітума	Визначення структурного типу за критеріями						
		ГХС	Інтервал пластичності (ІП)		Індекс пенетрації (ІР)		Показник В.А.Золотарьова ( $K_{стд}$ )	
			ІП, °С	С-ний тип	ІР	С-ний тип	$K_{стд}$	С-ний тип
1	Nynas 100/150	2	58	3	-1,25	2	0,07	2
2	Nybit E85	2	58	3	-0,8	3	0,07	2
3	БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»	3	69	3	-0,7	3	0,083	3
4	БНД 60/90 «Укртатнафта»	3	67	3	-0,6	3	0,096	3
5	БНД 60/90 з ІКС	3	68	3	-0,21	3	0,31	1

Структурні типи визначенні за розрахунковими критеріями, що базуються на фізико-механічних характеристиках не дають повної кореляції із фактичним визначення структурного типу бітуму за допомогою критерію ГХС. Це дає змогу зробити висновок, що дані розрахункові критерії мають певну похибку.

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.

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

## **3.2 Бітумні емульсії**

### **3.2.1 Розроблення рецептів бітумних емульсій**

Розроблено та виготовлено наступні рецепти бітумних емульсій для марки ЕКП-60 (емульсія катіонна повільнорозпадна з вмістом бітуму від 58 до 62 %) на основі бітумів №1-№4 та ЕКПМ-60 (емульсія катіонна повільнорозпадна модифікована з вмістом бітуму від 58 до 62 %) на основі бітуму №4 та №5.

Відповідно до [95] модифіковані емульсії отримують по тій схемі, що і традиційні, за виключенням операції по введенню модифікатора. Але технологія виготовлення модифікованих монофазних і двофазних емульсій відрізняються.

БЕ, модифіковані монофазні, виготовляють на основі модифікованого бітуму, тобто модифікатор (модифікуючий агент) вже введений в бітум. В більшості випадків висока в'язкість модифікованих бітумів змушує використовувати для їх диспергування більшу температуру, чим для не

модифікованих емульсій. Внаслідок цього, температура емульсії на виході із колоїдного млина може становити вище 100 °С. В цих умовах потрібно змінювати традиційне обладнання, щоб зробити його працездатним при тиску 1,5-2,0 бар і використовувати систему охолодження (зазвичай теплообмінник) на виході із змішувача. У випадку двофазних модифікованих емульсій модифікатор додається у вигляді емульсійної системи (латексу). Введення латексу може здійснюватись різними способами: шляхом диспергування у водній фазі; шляхом вприскування безпосередньо в дисперговану (бітумну) фазу; прямою ін'єкцією в колоїдний млин чи додаванням в готову бітумну емульсію.

Можливі способи введення латексу в бітумну емульсію наведені на рис.3.7.

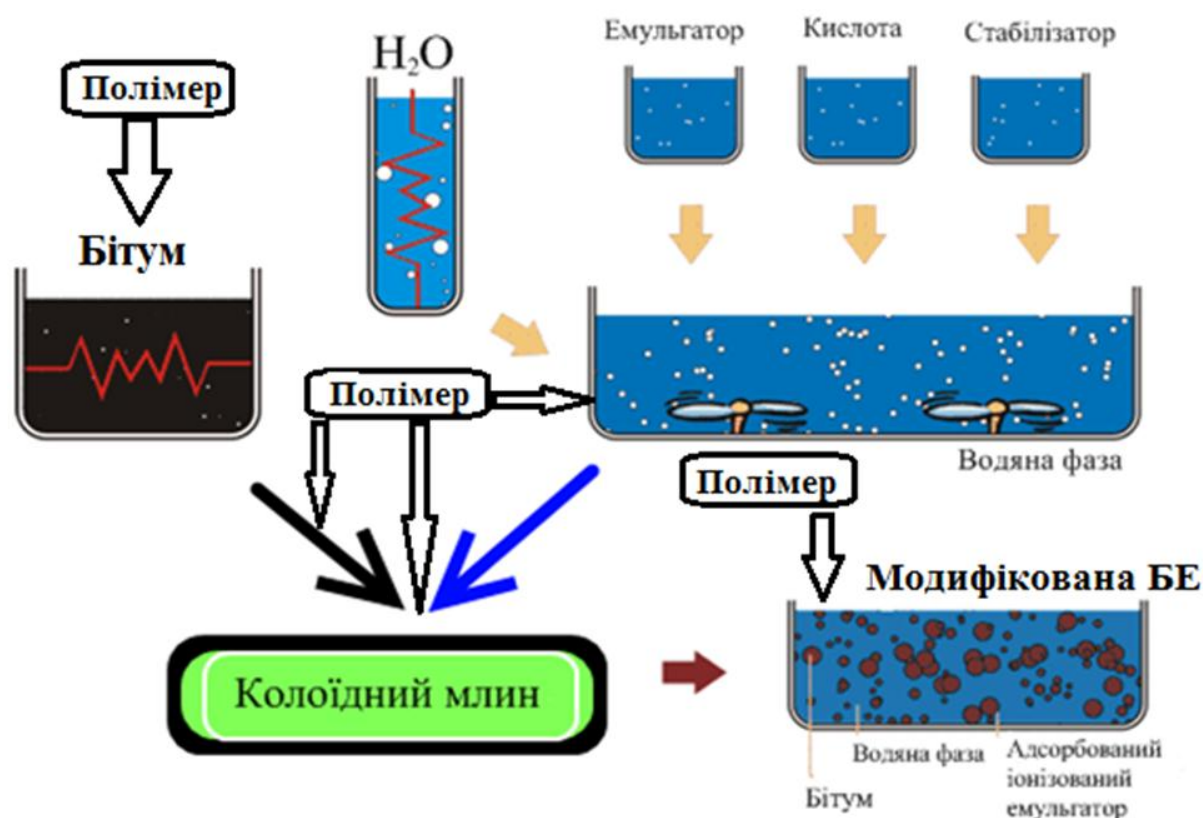


Рис.3.7 Можливі способи введення полімеру в бітумну емульсію.

В нашому випадку латекси вводилась диспергуванням в готову бітумну емульсію. Адже цей спосіб є доступним і найбільш поширеним на виробництві. Натомість спосіб ін'єкції латексу в бітум може спричинити проблему газоутворення і вихід змішувача з роботи, спосіб диспергування в водній фазі дає змогу регулювати параметри емульгування, особливо рН, досягти гомогенності дисперсії, але під час виготовлення емульсії, на шляху до колоїдного млина,

обладнання установки (ємкість для водної фази, трубопроводи, витратоміри) покриваються плівкою латексу, що спричиняє до втрати його вмісту в емульсії. Крім того, саме обладнання внаслідок даного явища може вийти з ладу.



Рис. 3.8 Лабораторна бітумно-емульсійна установка SEP-0,3R Данської компанії «Денімотех».

Процес виготовлення катіонних бітумних емульсій складався із трьох стадій, а під час додавання полімерного модифікатора – латексу із чотирьох:

1. Приготування бітумної фази (складової). Бітум розігрівали до температури 160 °С.

2. Приготування водної фази. Відповідно до рецепту бітумної емульсії готували водний розчин емульгатора (-ів) з додавання соляної кислоти до рівня рН 2,5.

3.Змішування бітумної та водної фаз за допомогою лабораторної бітумно-емульсійної установки періодичної дії SEP-0,3R данської компанії «Денімотех» (рис. 3.8) та отримання готової емульсії.

4. Додавання латексу в готову та охолоджену до температури 25 °С емульсію з ретельним перемішуванням.

Вміст бітуму в рецептах не модифікованих та модифікованих бітумних емульсій становив 62,0 мас %, а емульгатора Redicote E-11 – 1,1 мас %, адже масова доля бітуму з емульгатором повинна бути від 60 % до 65 % згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132]. Вміст емульгатор Redicote E-11 прийнято 1,1 мас %, оскільки орієнтовна його кількість, згідно з технічною інформацією Akzo Nobel, коливається від 0,6 до 1,5 мас. % БЕ [122]. Рівень рН 2,5 у водній фазі БЕ був прийнятий, як для «швидкотвердіючих» ЛЕМС (згідно рекомендацій Akzo Nobel [122] рН 1,5-3,0). Для створення рівня рН 2,5 у водній фазі використали, традиційну для бітумних емульсій, соляну кислоту (НСІ).

Таблиця 3.4

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

Рецепти не модифікованих бітумних емульсій для марки ЕКП-60 на основі бітумів №1-№4 наведені в табл. 3.4. В рецепти бітумних емульсій на основі окислених бітумів («Мозирський НПЗ», «Укртатнафта») були включені прискорювачі швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС спів-емульгатори Redicote 505 (рецепт №3.2) та Redicote 540 (рецепт №4.2, № 4.3) в кількості 0,25 мас % (рекомендований вміст спів-емульгаторів в БЕ згідно з технічною інформацією Akzo Nobel [97] складає для Redicote 505 – 0,15 – 0,35 мас %, Redicote 540 – 0,2-0,5 мас %).

Рецепти модифікованих бітумних емульсій для марки ЕКПМ-60 на основі бітумів №4 та №5 наведені в табл. 3.5. Бітумні емульсії № 4.4, 4.5, 4.6 є двофазними та відрізняються включенням в їхні рецепти синтетичних латексів Tortex А та Tortex В та натурального латексу Algoltex С в однаковій кількості 3 мас % понад масу емульсії. Кількість полімерного модифікатора прийнято на рівні 3 мас % понад масу БЕ, оскільки вимоги до вмісту модифікуючої добавки в залишковому в'язучому згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132] складають 2,5-5,0 % за масою і не менше 3,0 % за масою відповідно до норм ISSA A143 [57].

Бітумна емульсія №5 є монофазною та виготовлена на основі модифікованого ІКС БНД 60/90 «Укртатнафта».

Таблиця 3.5

## Рецепти модифікованих бітумних емульсій

№ рецепту та вид бітуму	Компоненти емульсій, мас.%						
	Бітум	Емульгатор Redicote E-11	НСІ у ВФ до рН	Вода	Син-ий латекс Tortex А	Син-ий латекс Tortex В	Натуральний латекс 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	–	–	–

Перед використанням латексів в рецептах бітумних емульсій визначили вміст сухої речовини в них згідно з ГОСТ 28862-90 [155] та порівняли отримані результати з типовими властивостями (табл.3.6).

Таблиця 3.6

#### Вміст сухої речовини в латексах

Латекс	Загальний вміст сухої речовин, % згідно типових властивостей	Фактичний вміст сухої речовин, %
Toptex A	$64 \pm 1$ %	64,6
Toptex B	$64 \pm 1$ %	63,3
Algoltex C	$\approx 65$	65,5

Послідовність проведення дослідження проілюстровано на рис. 3.9.



Рис. 3.9 Встановлення вмісту сухої речовини в латексі

Фактичний вміст сухої речовини в латексах знаходиться в межах похибок відповідно дані зразки латексу придатні для модифікації бітумних емульсій.

### 3.2.2 Фізико-технічні показники бітумних емульсій

Не модифіковані емульсії за фізико-технічними показниками відповідають марці ЕКП-60 за ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [133]. Різниця між показниками емульсій на основі дистильційних та окислених бітумів і емульсій із спів-емульгаторами особливо не спостерігається. Але показники концентрації водневих іонів в бітумних емульсіях на основі дистильційних бітумів є дещо нижчими, а показник індексу розпаду меншим (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

## Фізико-технічні показники не модифікованих емульсій

Назва показника	Вимоги	Рецепти емульсій, №							
	ЕКП-60	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	
1. Зовнішній вигляд	Однорідна темно-коричнева рідина	Відповідає							
2. Показник концентрації водневих іонів, рН	1,5-6,5	2,3	2,45	2,98	2,95	3,12	3,14	3,13	
3. Однорідність (залишок на ситі № 014), %, не більше	0,25	0,07	0,08	0,04	0,07	0,06	0,04	0,04	
4. Вміст залишкового в'язучого, %	58-62	61,15	61,19	61,84	61,52	61,08	61,18	61,2	
5. Умовна в'язкість, за температури 20 °С на апараті з діаметром отвору витoku 4 мм, с	5-25	15,4	8,2	7,4	7,2	10,0	9,2	9,4	
6. Стійкість при зберіганні: залишок на ситі № 014, %, не більше:									
	- після 7 діб	0,3	0,11	0,12	0,13	0,13	0,12	0,08	0,08
- після 30 діб:	0,4	0,17	0,19	0,20	0,19	0,21	0,20	0,20	
7. Зчеплюваність залишкового в'язучого з поверхнею щебеню, балів, не менше	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	
8. Змішуваність із зернових складів	пористого	Так	Так	Так	Так	Так	Так	Так	Так
	щільного	Так	Так	Так	Так	Так	Так	Так	Так
9. Індекс розпаду, %	170-230	171,5	178,7	195,50	192,45	190,25	189,63	185,15	

Модифіковані емульсії за фізико-технічними показниками відповідають марці ЕКПМ-60 за ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [143] (табл. 3.8).



Таблиця 3.8

## Фізико-технічні показники модифікованих емульсій

Назва показника	Вимоги	Рецепти емульсій			
	ЕКПМ-60	4.4	4.5	4.6	5
1. Зовнішній вигляд	Однорідна темно-коричнева рідина	Відповідає			
2. Показник концентрації водневих іонів, рН	1,5-6,5	3,25	3,30	3,31	2,6
3. Однорідність (залишок на ситі № 014), %, не більше	0,3	0,08	0,08	0,09	0,09
4. Вміст залишкового в'язучого, %	58-62	61,21	61,25	61,45	61,0
5. Умовна в'язкість, за температури 20 °С на апараті з діаметром отвору витoku 4 мм, с	5-25	7,4	7,4	7,2	9,0
6. Стійкість при зберіганні: залишок на ситі № 014, %, не більше:					
- після 7 діб	0,4	0,38	0,37	0,4	0,13
- після 30 діб:	0,5	0,48	0,48	0,49	0,23
7. Зчеплюваність залишкового в'язучого з поверхнею щебеню, балів, не менше	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
8. Змішуваність із сумішами зернових складів	пористого	Так	Так	Так	Так
	щільного	Так	Так	Так	Так
9. Індекс розпаду, %	170-230	170,17	171,22	170,09	180,20

Порівнюючи фізико-технічні показники не модифікованої емульсії № 4.1 та модифікованих емульсій латексами № 4.4-4.6, спостерігаємо незначне підвищення показника концентрації водневих іонів, рН модифікованих бітумних емульсій, що можна пояснити показником рН самих латексів, який коливається в інтервалі 4,5-5,5. Однорідність та вміст залишкового в'язучого всіх модифікованих емульсій особливо не відрізняються від показника базової не модифікованої емульсії №4.1.

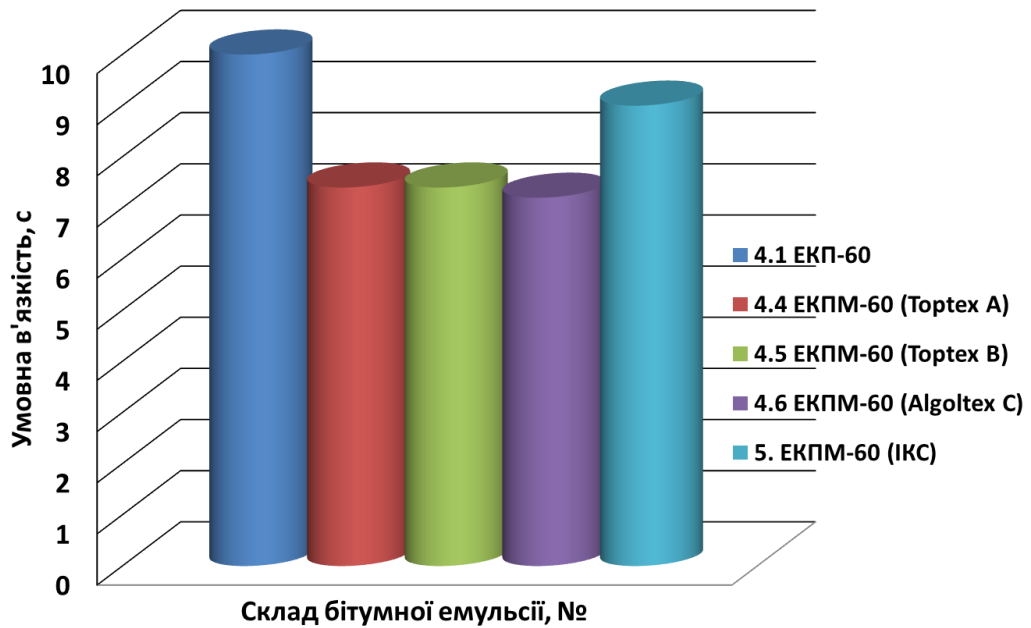


Рис.3.10 Умовна в'язкість не модифікованої БЕ № 4.1 та модифікованих БЕ № 4.4-4.6, №5

Умовна в'язкість (рис.3.10) та індекс розпаду (рис.3.11) модифікованих латексами двофазних емульсій є меншими, це можна пояснити більш широкою гранулометричною кривою, яка характеризується меншим середнім діаметром крапель ніж в не модифікованій емульсії №4.1 та модифікованій монофазній емульсії №5.

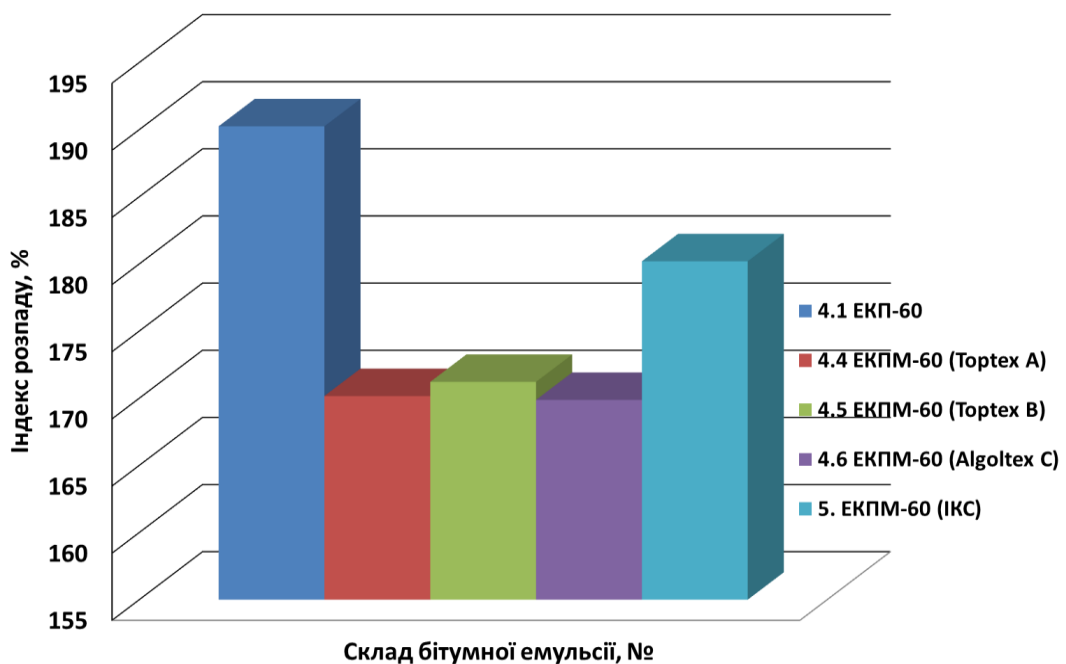


Рис.3.11 Індекс розпаду не модифікованої БЕ № 4.1 та модифікованих БЕ № 4.4-4.6, №5

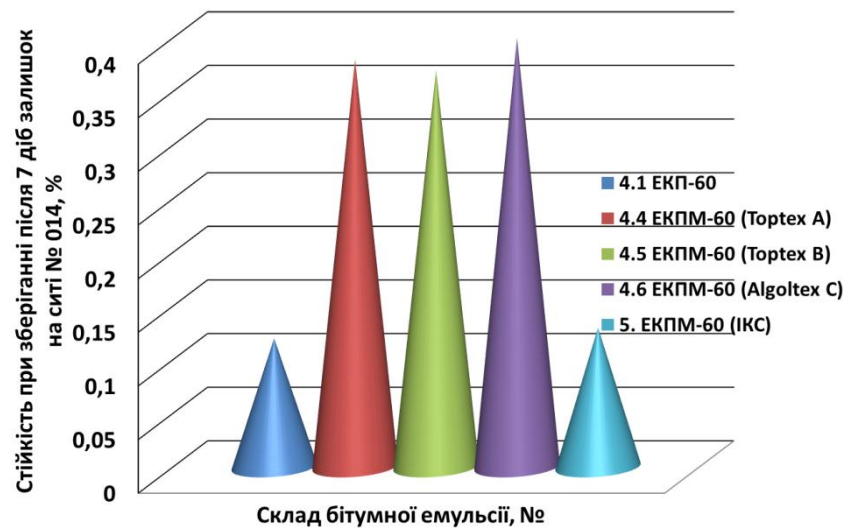


Рис. 3.12 Стойкість при зберіганні після 7 днів не модифікованої БЕ № 4.1 та модифікованих БЕ № 4.4-4.6, №5

Стойкість при зберіганні після 7 днів та 30 днів в модифікованих латексами емульсіях гірша (рис.3.12-3.13) ймовірно через існування в дисперсній фазі двох типів крапель (бітумні, латексні), які мають різні фізико-хімічні властивості, що може призвести до розділення фаз в процесі тривалого зберігання. Відтак, в емульсіях із значним вмістом бітуму можна спостерігати відділення латексу, що призводить до великої різниці між вмістом модифікатора та бітуму в верхній частині ємності, в якій зберігається емульсія. Це явище може призвести до часткового розпаду бітумної емульсії та до утворення відносно великого шару латексу біля поверхні ємності.

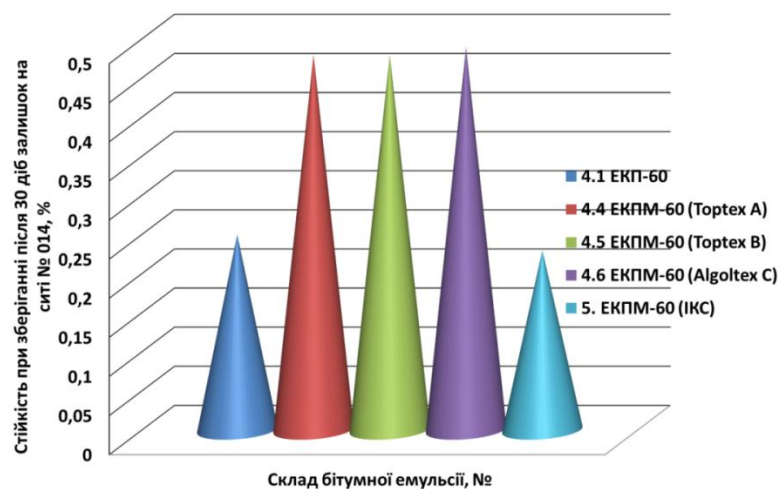


Рис. 3.13 Стойкість при зберіганні після 30 днів не модифікованої БЕ № 4.1 та модифікованих БЕ № 4.4-4.6, №5

Загалом виготовлені модифіковані дорожні бітумні емульсії відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [135] для марки ЕКПМ-60.

### 3.3 Кам'яний матеріал

#### 3.3.1 Гранулометричний склад кам'яного матеріалу

Згідно з нормами ISSA ТВ А105 [56], ТВ А143 [57] зерновий склад кам'яного матеріалу ЛЕМС для ТП згідно з певним типом повинен відповідати вимогам, що наведені у табл. 3.9. а в свою чергу гранулометричний склад ЛЕМС має відповідати табл. 3.10 згідно СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132].

Таблиця 3.9

Типи сумішей та їхній гранулометричний склад згідно з нормами ISSA

Розмір сит, мм	Повний прохід через сито, % за масою, для сумішей типу		
	Тип I	Тип II	Тип III
9,5	100	100	100
4,75	100	90-100	70-90
2,36	90-100	65-90	45-70
1,18	65-90	45-70	28-50
0,6	40-65	30-50	19-34
0,33	25-42	18-30	12-25
0,15	15-30	10-21	7-18
0,075	10-20	5-15	5-15

Таблиця 3.10

Гранулометричний склад кам'яного матеріалу відповідно до типу за СОУ 42.1-37641918-119:2014

Діаметр отворів сит, мм	Повний прохід через сито, % за масою, для сумішей типу		
	Тип 1	Тип 2	Тип 3
15	100	100	100
10	100	100	80-94
5	100	91-100	71-90
2,5	90-100	65-90	45-70
1,25	67-91	46-71	29-51
0,63	41-66	31-51	20-35
0,315	24-41	17-29	12-24
0,14	14-28	9-20	7-18
0,071	10-20	5-15	5-15

Для порівняння гранулометричного складу типів сумішей кам'яного матеріалу згідно з нормами COY та ISSA були побудовані графіки представлені на рис.3.14 – рис.3.16.

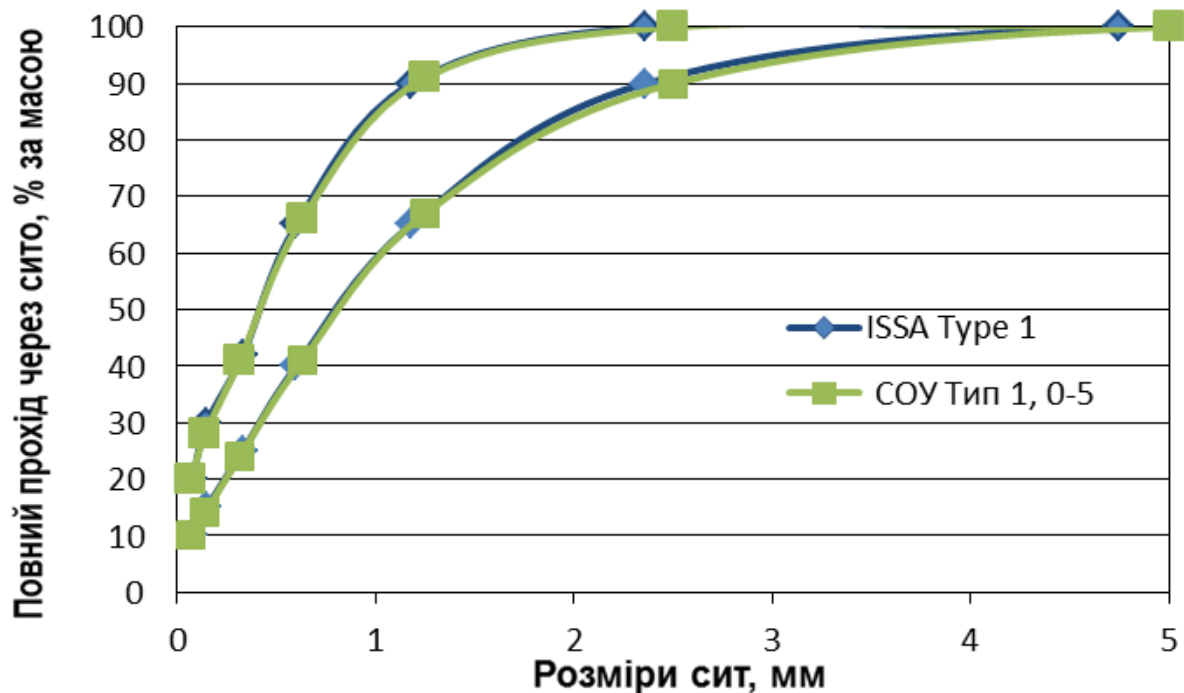


Рис 3.14 Порівняння гранулометричних складів першого типу ЛЕМС згідно з нормами COY та ISSA

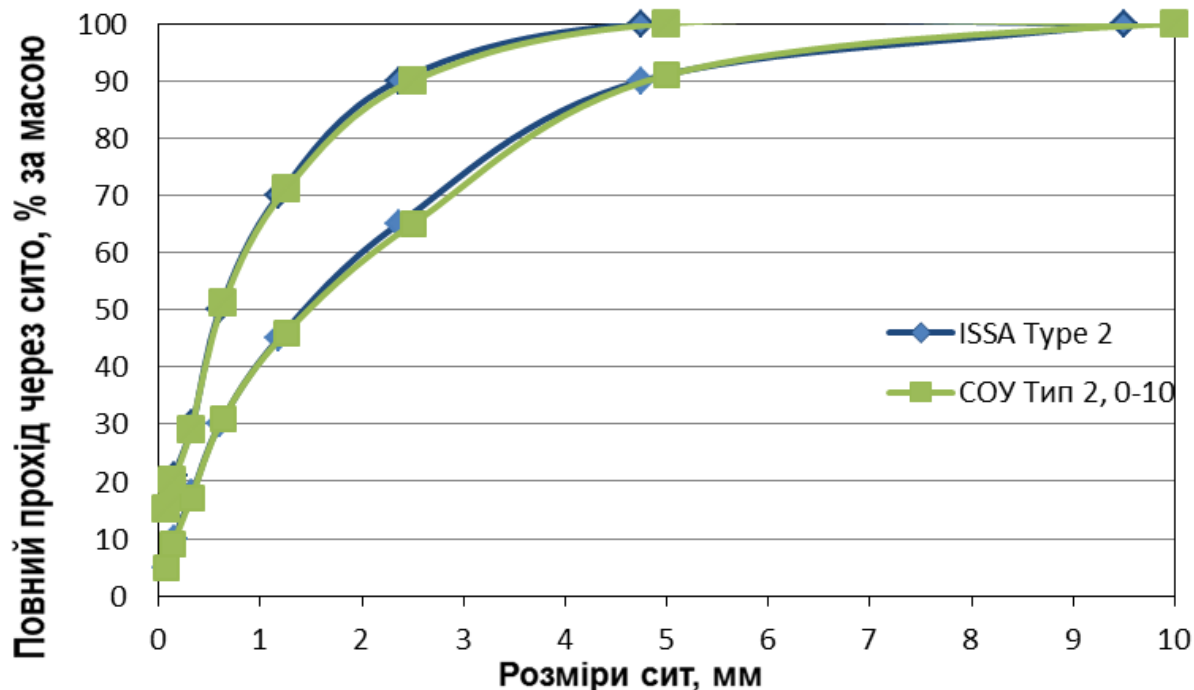


Рис 3.15 Порівняння гранулометричних складів другого типу ЛЕМС згідно з нормами COY та ISSA

Аналізуючи рис.3.14 та рис.3.15 граничні гранулометричні криві за СОУ та ISSA є майже ідентичними, на рис. 3.16 криві також є схожими, але норми ISSA не регламентують можливість використання мінерального заповнювача фракції більше 9,5 мм. Загалом відмінність між нормами полягає в різниці запропонованих для просіювання наборі сит. Було прийнято рішення проводити дослідження відповідно до СОУ 42.1-37641918-119:2014 [142].

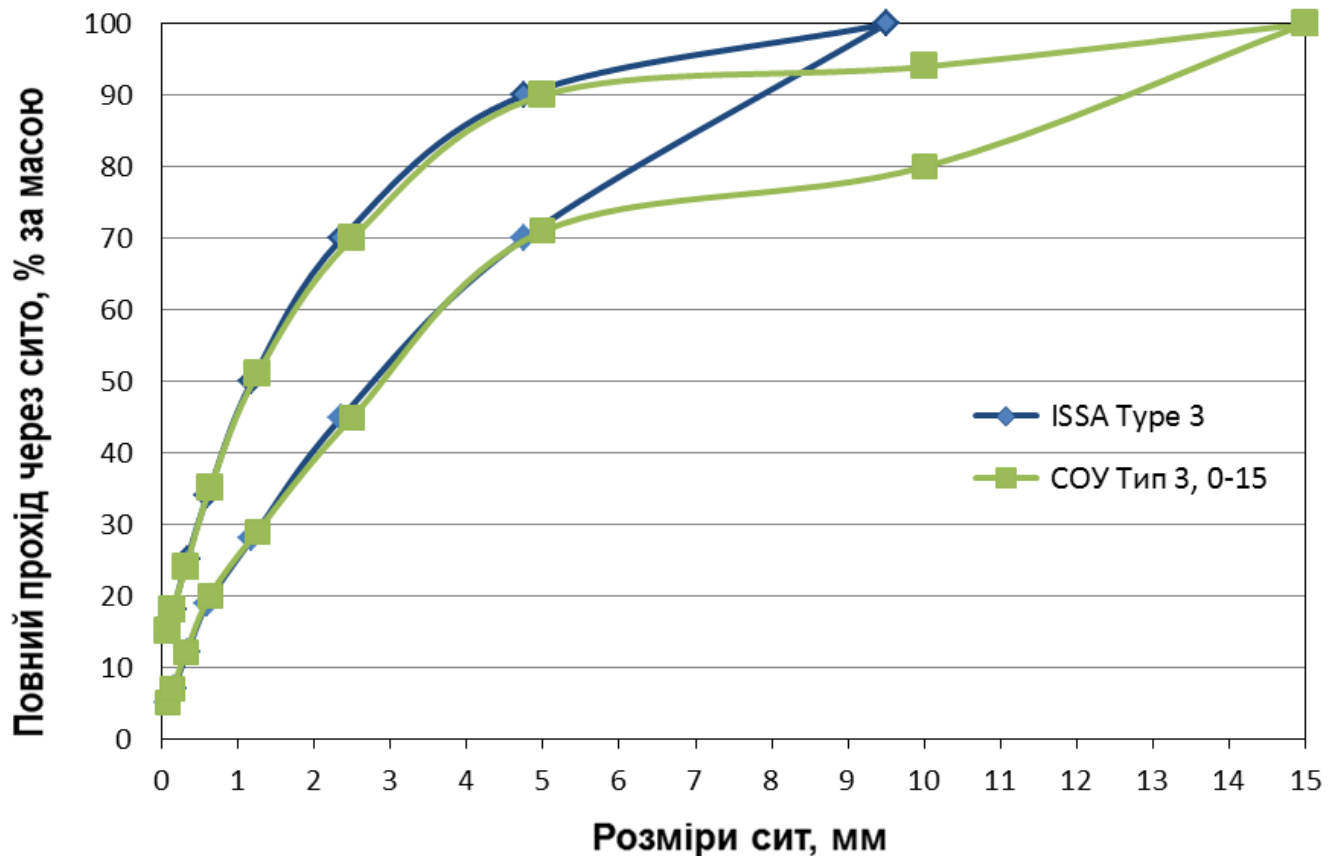


Рис 3.16 Порівняння гранулометричних складів третього типу ЛЕМС згідно з нормами СОУ та ISSA

З метою виключення впливу особливостей зернового складу кам'яних матеріалів з різних кар'єрів на показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС проектування складу суміші відбувалось на основі однакових вузьких фракцій для кожного типу литої суміші. Відтак для кожного типу суміші були розроблені розрахункові гранулометричні криві, які наближаються до середніх граничних кривих за СОУ [142].

Розрахунковий грансклад 0-5 для суміші типу 1 наведений в табл. 3.11 та на рис.3.17.

Таблиця 3.11

Розрахунковий грансклад 0-5 для суміші типу 1

Діаметр отворів сит круглої форми, мм	Середній гран склад 0-5 для суміші типу 1	
	Часткові залишки на ситах, % за масою	Повні проходи через сита, % за масою
0	45	0
0,5	25	45
1	25	70
2	5	95
5	0	100

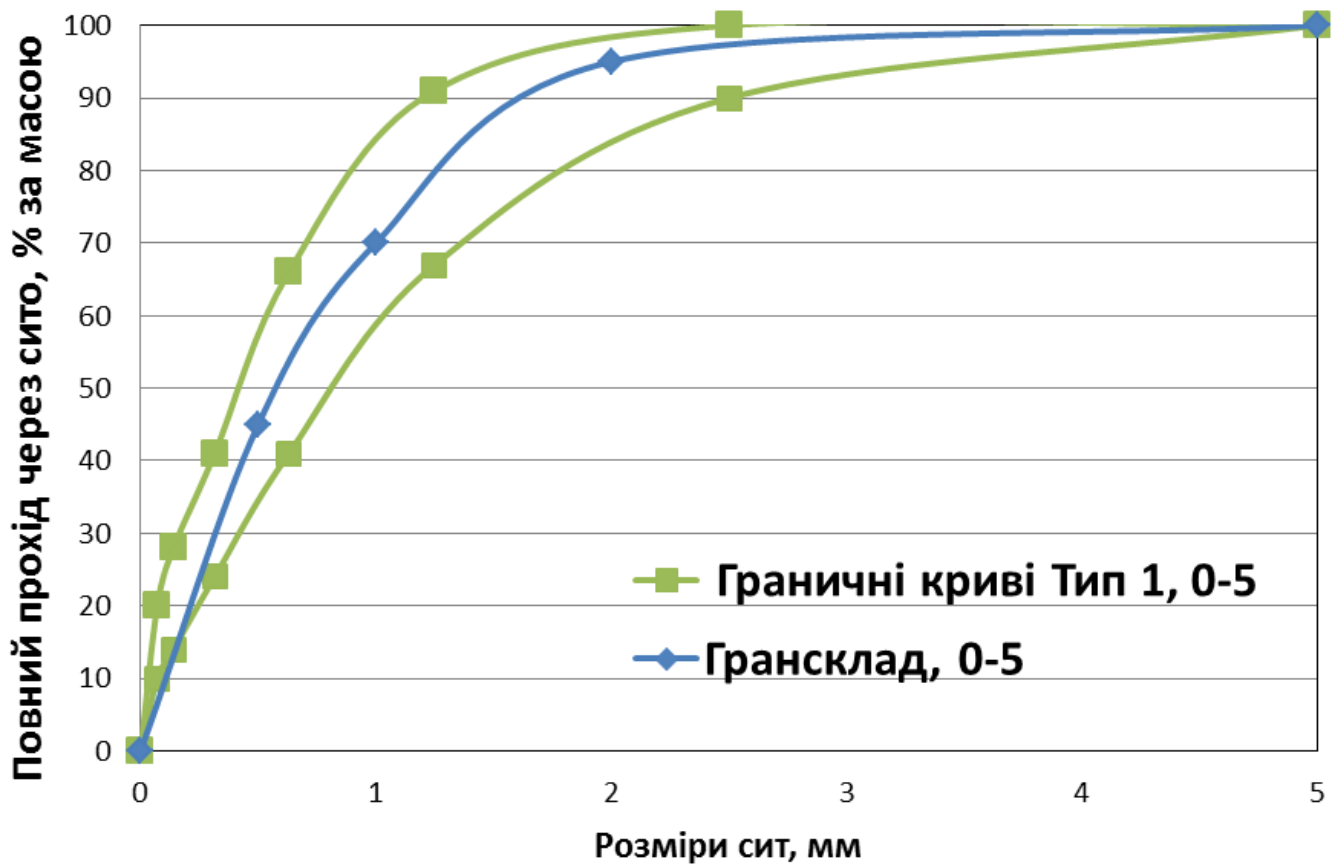


Рис 3.17 Розрахунковий грансклад для суміші типу 1

Розрахунковий грансклад 0-10 для суміші типу 2 наведений в табл. 3.12 та на рис.3.18

Таблиця 3.12

Розрахунковий грансклад 0-10 для суміші типу 2

Діаметр отворів сит круглої форми, мм	Середній гран склад 0-10 для суміші типу 2	
	Часткові залишки на ситах, % за масою	Повні проходи через сита, % за масою
0	30	0
0,5	40	30
2	20	70
5	10	90
10	0	100

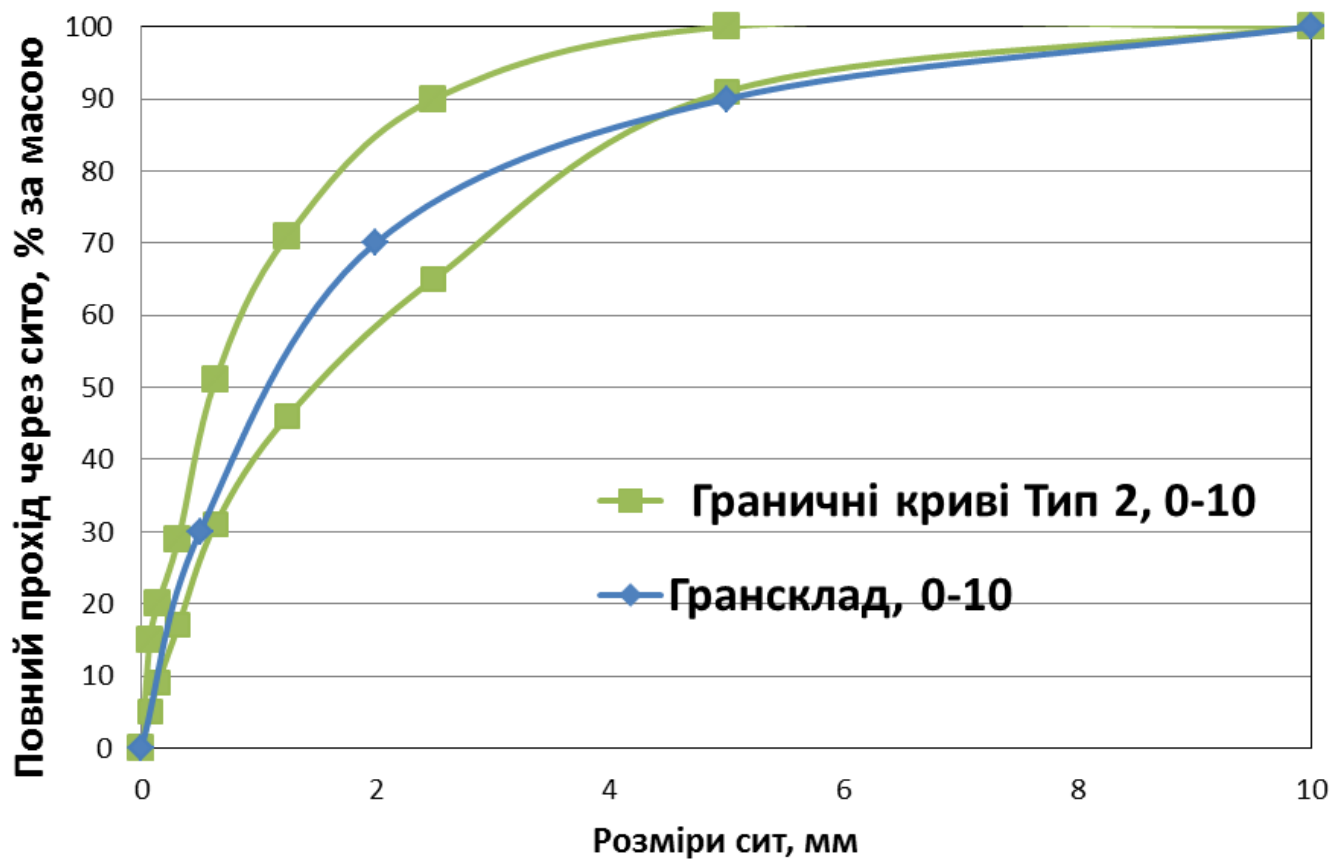


Рис.3.18 Розрахунковий грансклад для суміші типу 2

Розрахунковий грансклад 0-15 для суміші типу 3 наведений в табл. 3.13 та на рис.3.19



Таблиця 3.13

## Розрахунковий грансклад 0-15 для суміші типу 3

Діаметр отворів сит круглої форми, мм	Середній гран склад 0-15 для суміші типу 3	
	Часткові залишки на ситах, % за масою	Повні проходи через сита, % за масою
0	23	0
0,5	29	23
2	25	52
5	8	77
10	15	85
15	0	100

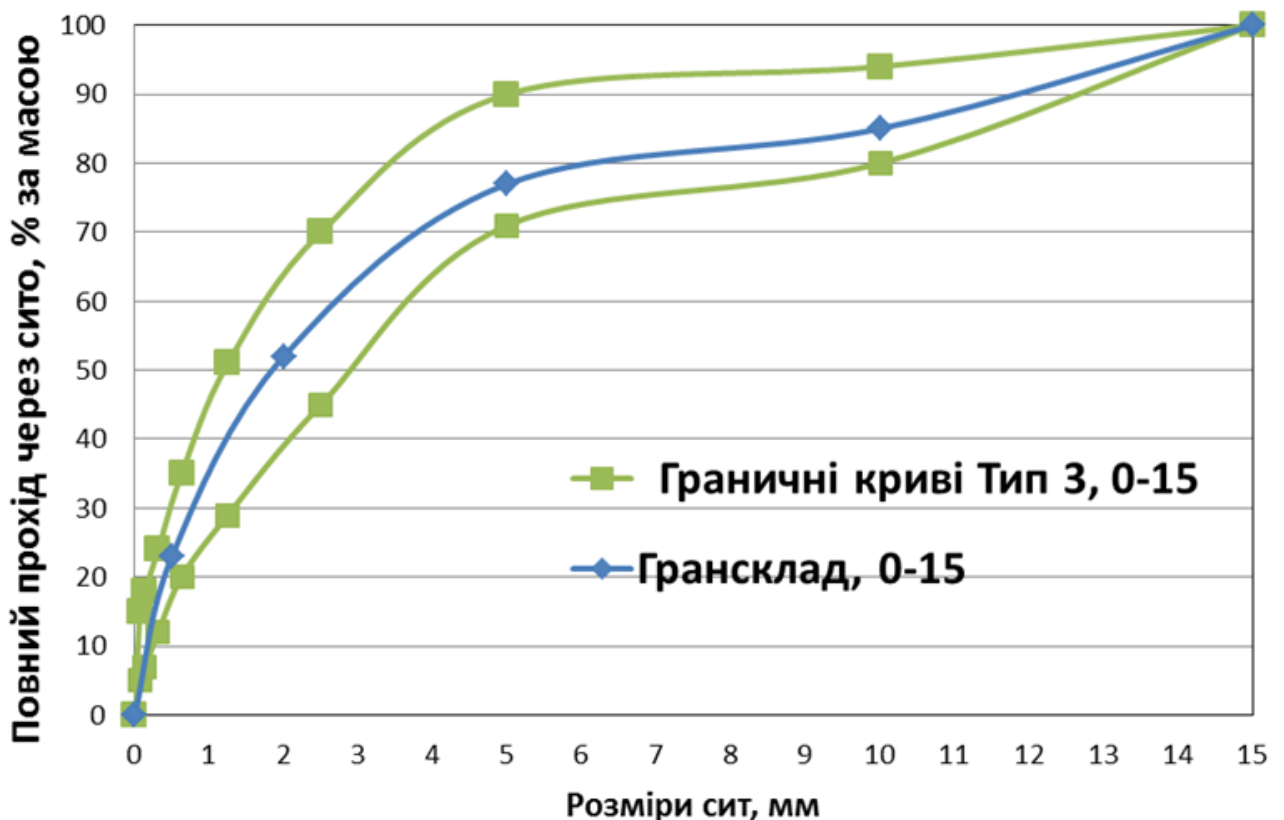


Рис.3.19 Розрахунковий грансклад для суміші типу 3

В подальшому відповідно до розроблених гранулометричних розрахункових складів 0-5, 0-10, 0-15 проводили підбір мінеральної частини суміші для певного типу ЛЕМС.

### 3.3.2 Шкідливі домішки в кам'яному матеріалі

Щебінь є мінеральним скелетом суміші і наявність в ньому поверхнево активних глинистих часток, органічних домішок, шкідливих мінералів (слюди, гідрослюди, хлоридів, магнетитів, гематитів, гетитів тощо) призводить до погіршення фізико-механічних показників та приросту когезійної міцності ЛЕМС.

Для визначення придатності кам'яних матеріалів за критерієм метилену синього (МС) було використано фракцію гранітного щебеневого відсіву < 0,071 низки кар'єрів України (табл. 3.14).

Таблиця 3.14

Показники метилену синього вітчизняних кам'яних матеріалів

№ п/п	Область	Назва кар'єру	Показник МС, мл	Придатність
1.	Київська	Рокитнянський	17	Не придатний
2.	Рівненська	Вирівський	10	Придатний
3.	Рівненська	Клесівський	9	Придатний
4.	Рівненська	Томашгородський	10	Придатний
5.	Закарпатська	Виноградівський	15	Не придатний
6.	Хмельницька	Полонський	10	Придатний
7.	Житомирська	Новоград-Волинський	10	Придатний
8.	Житомирська	Ушицький	20	Не придатний
9.	Кіровоградський	Гайворонський	9	Придатний

За даними табл. 21 встановлюємо, що оптимальним відсівом за критерієм МС серед досліджених є клесівський та гайворонський з показниками метилену синього – 9 мл., а найреактивнішим відсівом є ушицький з показником метилену синього – 20 мл.

Також було встановлено показник МС для ПЦ П/А-Ш-400, що був використаний в ЛЕМС. Відповідно до вимог СОУ [132] метод випробування регламентує додавання першої порції розчину МС обсягом 5 мл. Але після проведення дослідів за такою методикою показник МС цементу, якраз і склав 5 мл. Тому для збільшення точності дослідів було прийнято рішення спочатку додавати 1 мл розчин МС, а не 5 мл. Після чого показник МС ПЦ П/А-Ш-400

склав 4 мл., що значно менше всіх досліджуваних кам'яних матеріалів. Відповідно додавання в ЛЕМС цементу буде зменшувати загальну поверхневу активність кам'яних матеріалів.

Для встановлення причини різниці значень показників МС оптимального за цим критерієм клесівського відсіву та поверхнево активного ущицького відсіву провели їхній рентгенофазовий аналіз. Рентгенофазовий аналіз проводили в Національному університеті імені Івана Франка на кафедрі екологічної та інженерної геології і гідрогеології в міжкафедральній лабораторії рентгеноструктурного аналізу. Результати аналізу представлені в Додатку А та в табл. 3.15

Таблиця 3.15

Якісний аналіз клесівського та ущицького відсівів

Мінеральний склад	Відсів фр. <0,071	
	клесівський	ущицький
Слюда	+	+
Кварц	+	+
Польовий шпат	+	+
Хлорит	+	+
Амфібол	-	+

Якісний аналіз показав, що в складі наповнювачів (фр.< 0,071) присутні такі мінерали: слюда, кварц, польовий шпат, хлорит. Також в ущицькому заповнювачі присутній амфібол. Амфіболи – це породотвірні мінерали класу силікатів однакової кристалохімічної будови, аніонний радикал яких є стрічковим. Схожий мінералогічний склад відсівів спонукав для проведення лазерної дифракції цих наповнювачів для встановлення розміру частинок відсіву і їх розподілу.

Визначено, що відсоткове співвідношення частинок менше 3 мкм – 6,15% і частинок від 3 мкм до 90 мкм – 77,52% в клесівському відсвіві менше в порівнянні з ущицьким, відповідно 7,67% і 86,33%. А частинок більше 90 мкм навпаки більше: клесівський 16,33%, ущицький 5,99% (рис. 3.20 та рис.3.21). Питома поверхня клесівського відсіву (1868 см<sup>2</sup>/г) також менша ніж ущицького (2175 см<sup>2</sup>/г).

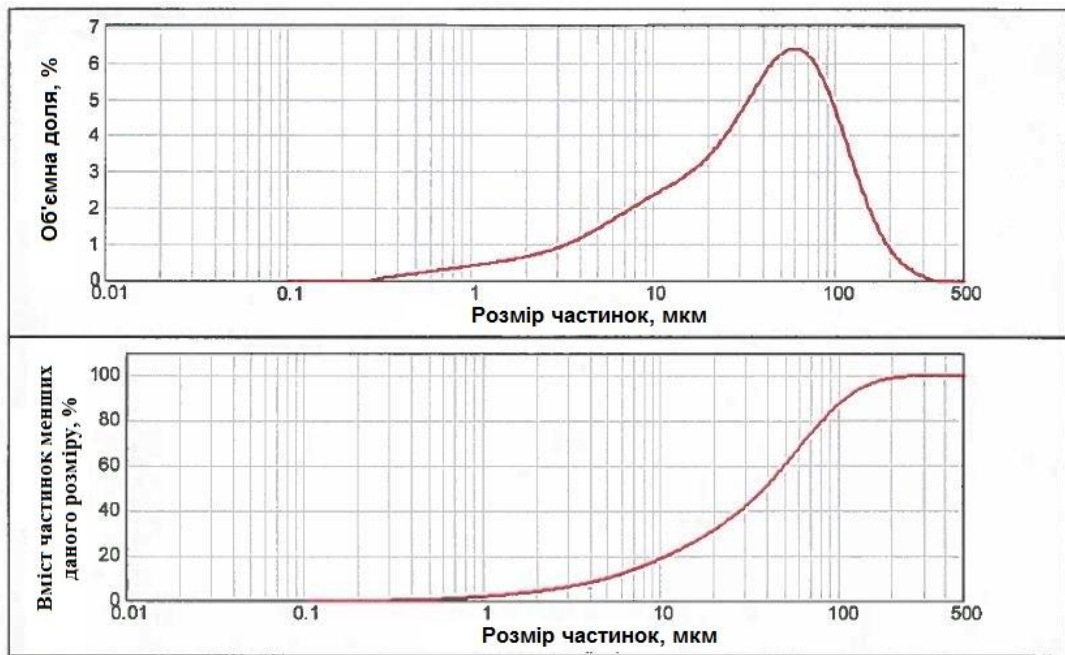


Рис. 3.20 Розмір частинок клесівського відсіву і аналіз їх розподілу

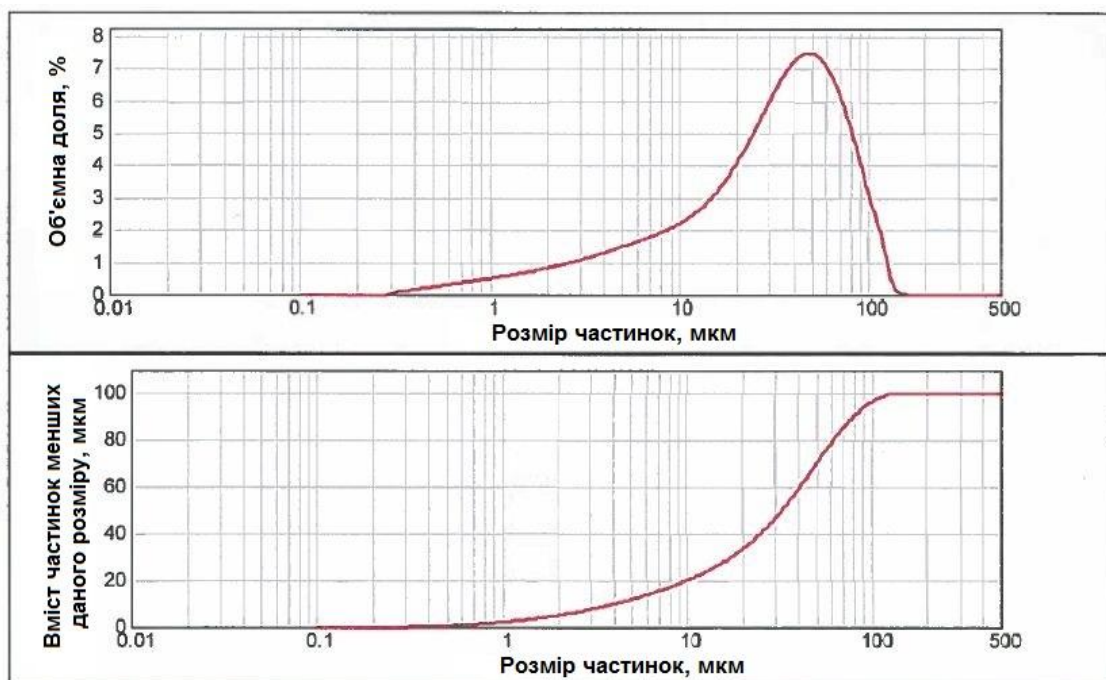


Рис. 3.21 Розмір частинок ушицького відсіву і аналіз їх розподілу

За допомогою проведеної лазерної дифракції підсумовуємо, що показник МС ушицького кам'яного матеріалу вищий ніж у клесівського більш ніж в два рази, через мікрогранулометрію цього заповнювача. А саме: в ушицькому відсвіві 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, що недопустимо. Тому для стабілізації суміші потрібно буде вводити значну кількість регулюючої добавки, що негативно позначиться на швидкості набору когезійної міцності литої суміші.

### 3.4 Висновки до розділу

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.

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, а зчеплюваність бітуму із поверхнею скла в 4 рази та зменшити вміст парафінів у цьому бітумі 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.2.7-129:2013 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 Tортex А і Tортex В, натуральний латекс Algoltex С в кількості 3% понад масу БЕ.

4. Виконано порівняння гранулометричного складу типів сумішей кам'яного матеріалу згідно з нормами СОУ та ISSA та встановлено, що граничні гранулометричні криві є схожими, відмінність полягає в різниці розмірів запропонованих для просіювання сит. Прийнято рішення проводити підбір за допомогою запропонованих нами розрахункових гранулометричних кривих, які вписуються в граничні межі для кожного з типів ЛЕМС за СОУ 42.1-37641918-

119:2014 [132]. Розрахункові гранулометричні криві основані на певних вузьких фракцій для кожного з трьох типів ЛЕМС.

5. Для моніторингу придатності кам'яних матеріалів за показником метилену синього для використання в ЛЕМС було досліджено дев'ять гранітних щебенів з вітчизняних кар'єрів. Допустимими для використання в ЛЕМС визнані кам'яні матеріали кар'єрів: ТОВ «Вирівський кар'єр» (Рівненська область), ТОВ «Новоград-Волинського каменедробильний завод» (Житомирська область), Клесівський кар'єр нерудних копалин «Технобуд» (Рівненська обл.), кар'єр ВАТ «Полонський гірничий комбінат» (Хмельницька область), ПАТ «Гайворонський спеціалізований кар'єр» (Кіровоградська область) з показниками МС  $\leq 10$  мл. Непридатними визнані щебені з кар'єрів: ТОВ Рокитнянський гранкар'єр (Київська область), ВАТ «Томашгородський щебеневи завод» (Рівненська область), Виноградівський кар'єр (Закарпатська область), кар'єр ПАТ Ушицького комбінату будівельних матеріалів (Житомирська область), (МС  $\geq 10$  мл).

6. Порівняння рентгенофазового аналізу та лазерної дифракції оптимального кам'яного матеріалу за критерієм метилен синій 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 пилюватих і глинистих частинок із високою питомою поверхнею є вищим.

## РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ ЛЕМС ЗА КРИТЕРІЄМ ШВИДКОСТІ НАБОРУ КОГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ

### 4.1 Проектування оптимальних складів ЛЕМС за критерієм розпаду

Проектування складу ЛЕМС здійснювали за критерієм розпаду. Оптимальним складом ЛЕМС за критерієм її розпаду вважається такий вміст кам'яного матеріалу, мінерального наповнювача, води, регулюючої добавки (присадки) та бітумної емульсії, що забезпечує розпад суміші не раніше 180 секунд для суміші виду А і типу 1 та не раніше 120 секунд для сумішей виду Б і типів 2 і 3. Вид А – суміші з емульсій на основі бітуму, вид Б – суміші з емульсій на основі модифікованого бітуму [132]. Дозування всіх вихідних складників виконували в процентному відношенні понад масу кам'яного матеріалу, яка становила 100 г. Матеріали для ЛЕМС дозували та змішували вручну в такій послідовності: кам'яний матеріал, мінеральний наповнювач, вода, регулююча добавка (присадка), бітумна емульсія.

На підставі попередніх досліджень запропонована методика визначення розпаду ЛЕМС (рис.4.1):

- змішування мінеральних компонентів, води, присадки та емульсії в емальованому посуді (рис.4.1.а);
- ручне перемішування утвореної суміші шпателем в нахиленому посуді, який знаходиться в руках дослідника і обертається за рухом перемішування суміші. Саме таке перемішування дає змогу оцінювати рухливість суміші впродовж усього часу перемішування (рис.4.1.б);
- фіксування розпаду суміші, як часу від закінчення введення БЕ до моменту, коли емульсійно-мінеральна суміш втратить рухливість і можливість подальшого перемішування (рис.4.1.в).

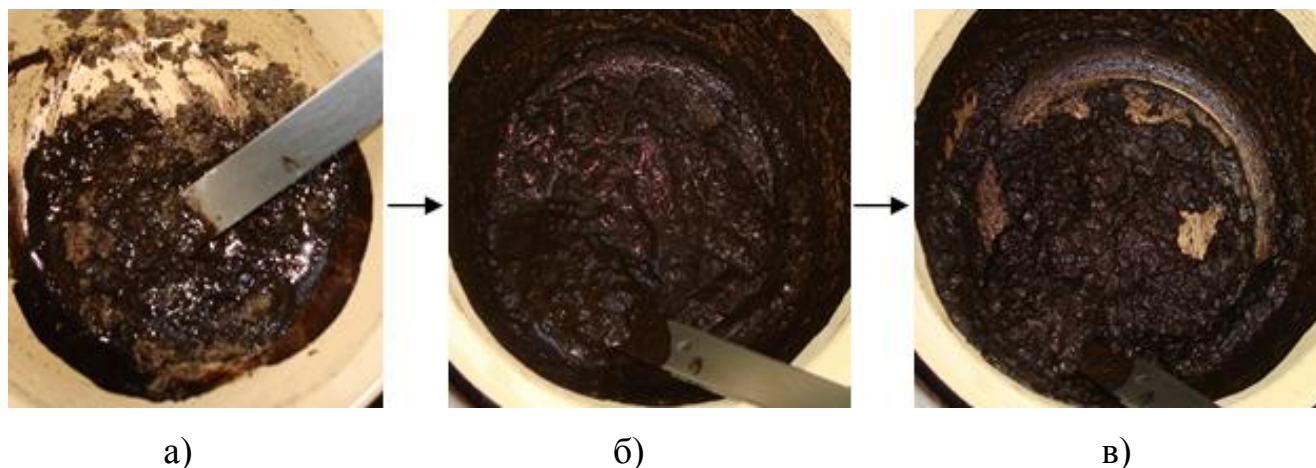


Рис.4.1 Визначення розпаду ЛЕМС

Випробовування ЛЕМС за критерієм розпаду повинно проводитись за такої температури та вологості повітря, що прогнозується в місці виконання робіт. Стандартна температура випробування за критерієм розпаду становить  $+25^{\circ}\text{C}$  за нормальної відносної вологості повітря [132].

#### **4.1.1 Вплив компонентів суміші на процеси розпаду та початок набору когезійної міцності на основі дистиляційних та окислених бітумів**

Для визначення впливу компонентів суміші на розпад (Р) та початок набору когезійної міцності (ПКМ) ЛЕМС були запроектовані склади на основі щебеню ТОВ «Новоград-Волинський каменедробильний завод» (розрахунковий грансклад 0-10), дистиляційного бітуму Nybit E85 (рецепт БЕ №2 табл.3.4 ) та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта» (рецепт БЕ №4.1 табл.3.4 ). Вміст води (В) приймали рівним 10 частинам відповідно для досягнення оптимальної консистенції суміші (розплив конуса 2-3 см). В СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132] рекомендований вміст води становить 6-11 % за масою для ЛЕМС. Як мінеральний наповнювач використано портландцемент (Ц), вміст якого варіювали з точністю 0,25 частин; за вимогами СОУ [132] його вміст становить 0,5-3,0 % за масою, за ISSA [45] – 0-3,0 %. Присадку (П), а саме 10-% водний розчин емульгатора Redicote E-11 також дозували з точністю 0,25 частин (в



перерахунку на 100% емульгатора – 0,025 %), згідно з нормами [132] вміст присадки – не більше 0,3 % за масою. Вміст БЕ (вміст бітуму в емульсії – 62 мас. %) приймали в кількості 14 частин для забезпечення потрібної кількості залишкового в'язучого, що становило 8,68 мас. %. Всі компоненти дозували по масі з розрахунку понад 100 грам кам'яного матеріалу.

Результати досліджень впливу компонентів суміші на розпад та початок набору когезійної міцності на основі дистиляційного та окисленого бітумів представлені в табл. 4.1.

Аналіз, виконаний за даними табл. 4.1 свідчить, що присадку та цемент потрібно включати в склад ЛЕМС для забезпечення нормативного значення часу розпаду. Присадка є розчином емульгатора, який швидко адсорбується на кам'яному матеріалі, створюючи енергетичний бар'єр для його взаємодії з бітумною емульсією, внаслідок цього збільшується час розпаду суміші. Але вміст присадки за можливості потрібно зводити до мінімуму, оскільки час початку набору когезійної міцності із збільшенням присадки також зростає, внаслідок цього суміш твердне повільніше. Вміст цементу також має бути оптимальним, адже надмірна його кількість може нейтралізувати кислоту в катіонній емульсії, викликавши підвищення рН, і дестабілізацію емульсії. Крім цього його надлишок збільшує крихкість тонкошарового покриття загалом, що призведе до появи небажаних тріщин. Побутує думка [73], що кислота з БЕ і цемент утворюють іони кальцію, які знижують адсорбцію емульгаторів мінеральними речовинами, виміряну за критерієм МС. Завдяки цій особливості взаємодії цемент дає можливість продовжити час розпаду суміші до певного граничного значення.

В табл. 4.1. визначали окремо вплив кожного з компонентів ЛЕМС на час її розпаду і початок набору когезійної міцності, чітко фіксуючи значення інших складників суміші.

В табл. 4.1. виділені показники розпаду та початку набору когезійної міцності залежно від вмісту компоненту суміші, що є найбільш прийнятними відповідно до вимог:  $P \geq 120$ с та  $ПКМ \leq 30$  с.

Таблиця 4.1

Вплив компонентів ЛЕМС на час її розпаду і початок набору когезійної міцності

Назва компонента	Вміст компонента	Nybit E85		БНД 60/90«Укртатнафта»	
		P, $\geq 120$ с	ПКМ,с	P, $\geq 120$ с	ПКМ,с
Вміст інших компонентів: Ц=1,0 г; В=10,0 г; БЕ=14,0 г.					
1. Присадка (П), г	-	10	5	11	7
	0,25	46	7	49	13
	0,5	89	9	98	15
	0,75	105	12	<b>121</b>	<b>32</b>
	1,0	<b>125</b>	<b>15</b>	168	35
	1,25	159	18	177	41
	1,5	184	20	210	46
Вміст інших компонентів: В=10,0 г; БЕ=14,0 г; П=1,0 г (Nybit E85); П=0,75 мл (БНД 60/90).					
2.Портландцемент (Ц),г	-	64	5	68	12
	0,25	84	9	89	21
	0,5	105	12	111	26
	0,75	115	14	118	29
	1,0	<b>125</b>	<b>15</b>	<b>121</b>	<b>32</b>
	1,25	126	13	120	33
	1,5	114	10	112	28
Вміст інших компонентів: Ц=1,0 г; В=10 мл; П=1,0 г (Nybit E85); П=0,75 г (БНД 60/90).					
3.Бітумна емульсія (БЕ), г	12,0	87	12	90	19
	13,0	101	14	109	24
	14,0	<b>125</b>	<b>15</b>	<b>121</b>	<b>32</b>
	15,0	145	25	150	41
	16,0	169	34	171	52
Вміст інших компонентів: Ц=1,0г; Е=14,0 г; П=1,0 г (Nybit E85); П=0,75 г (БНД 60/90).					
4. Вода (В), г	8,0	89	13	94	21
	9,0	104	14	112	27
	10,0	<b>125</b>	<b>15</b>	<b>121</b>	<b>32</b>
	11,0	147	27	152	43
	12	171	36	174	54

Спостерігається прямо пропорційна залежність між вмістом присадки та розпадом і початком набору когезійної міцності ЛЕМС (рис. 4.2, 4.3). На дистиляційному бітумі Nybit E85 розпад суміші відбувається швидше, це вимагає включення у склад більшої кількості присадки (1 частину), ніж на окисленому

БНД 60/90 (0,75 частини) для забезпечення нормативного значення розпаду суміші (не раніше 120 секунд). Хоча вміст присадки на дистиляційному бітумі вищий, але час початку набору когезійної міцності є меншим (рис.4.3).

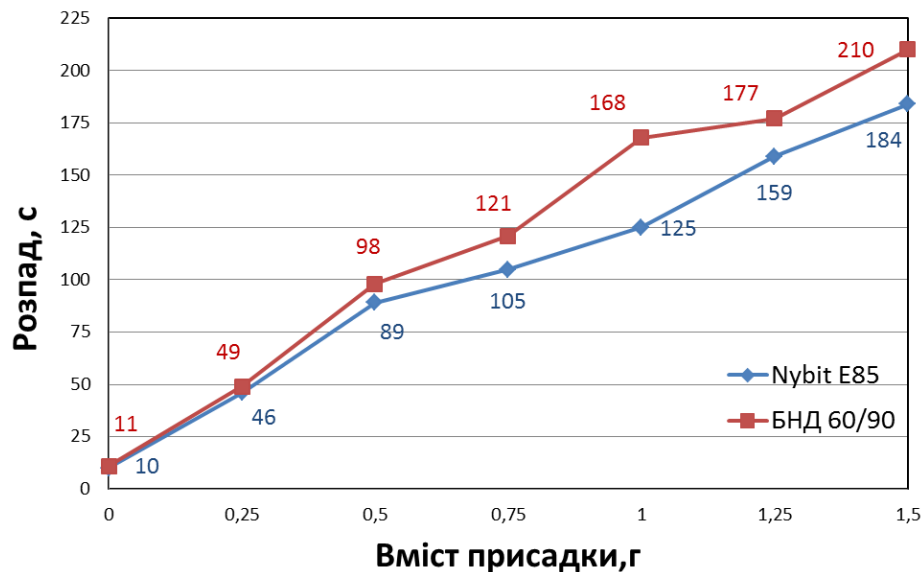


Рис.4.2. Вплив присадки на розпад ЛЕМС на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта»

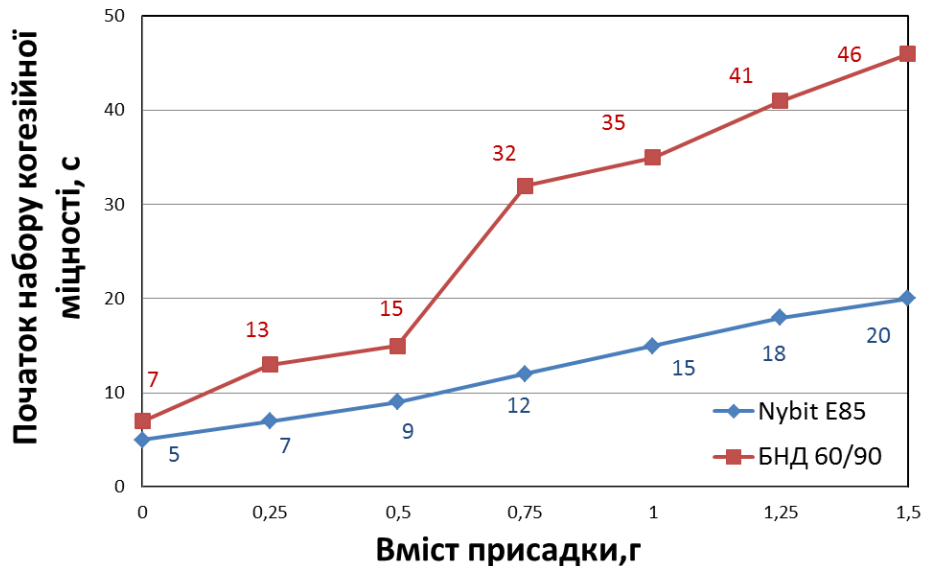


Рис.4.3. Вплив присадки на початок набору когезійної міцності ЛЕМС на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта»

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 (рис. 4.4-4.5).

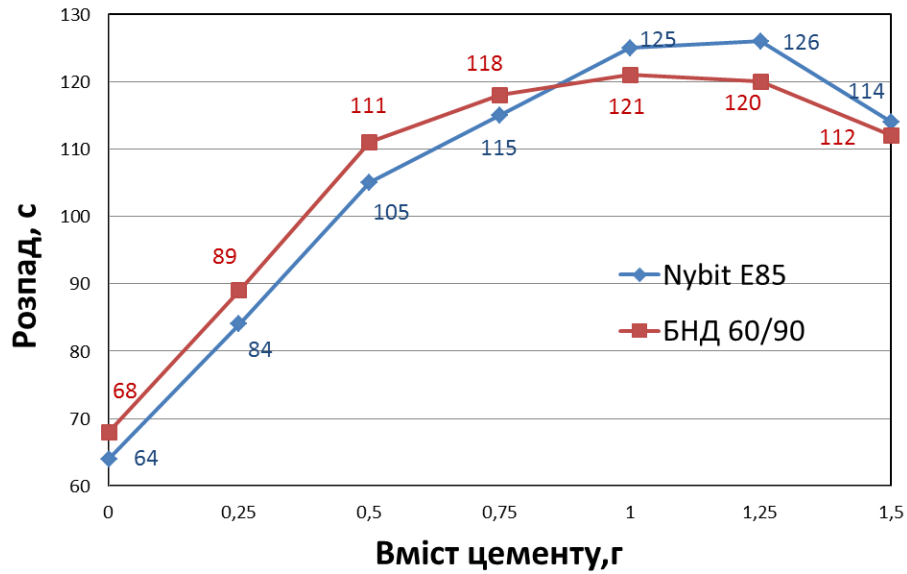


Рис.4.4. Вплив цементу на розпад ЛЕМС на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 ( $\Pi=1,0$  г) та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта» ( $\Pi=0,75$  г)

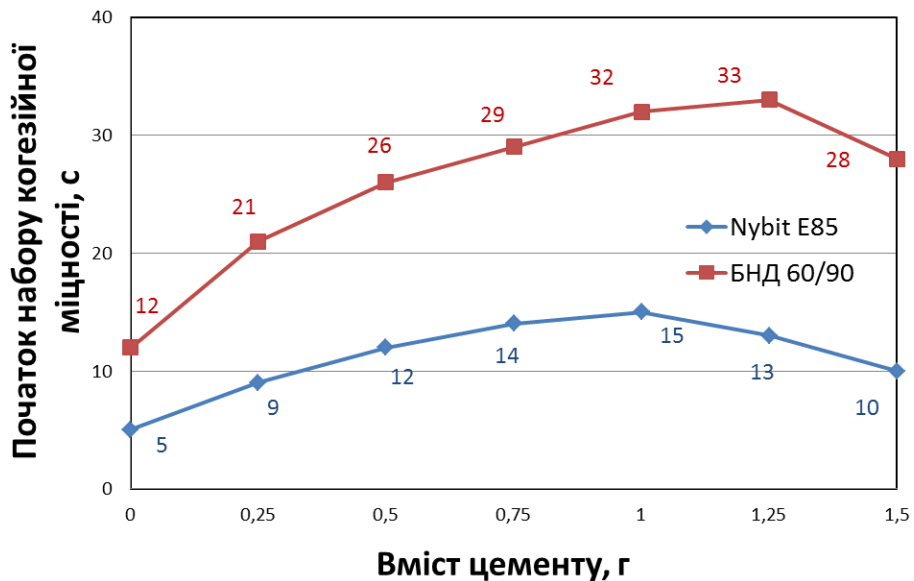


Рис.4.5. Вплив цементу на початок набору когезійної міцності ЛЕМС на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 ( $\Pi=1,0$  г) та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта» ( $\Pi=0,75$  г)

Встановлено, 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.

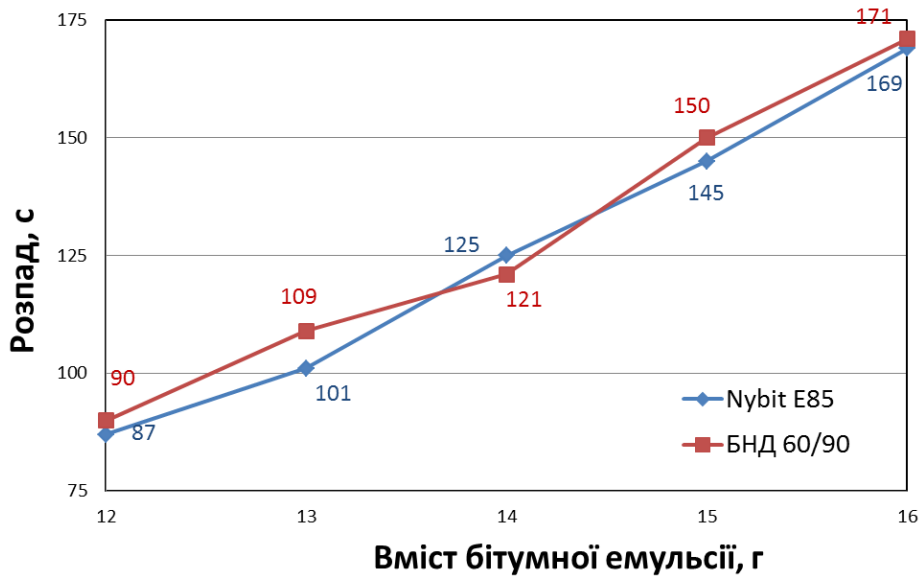


Рис.4.6. Вплив бітумної емульсії на розпад ЛЕМС на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 ( $\Pi=1,0$  г) та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта» ( $\Pi=0,75$  г)

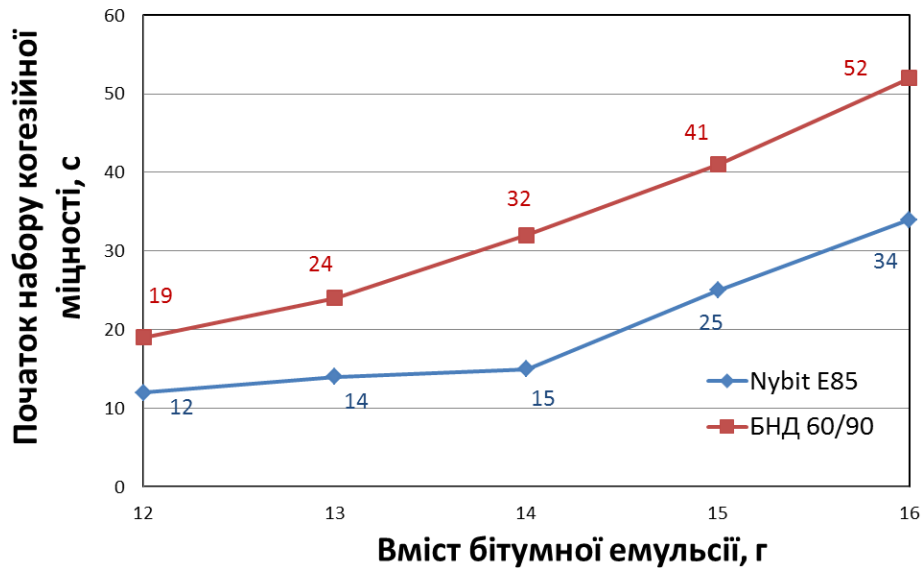


Рис.4.7. Вплив бітумної емульсії на початок набору когезійної міцності ЛЕМС на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 ( $\Pi=1,0$  г) та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта» ( $\Pi=0,75$  г)

Вплив вмісту емульсії (рис.4.6-4.7) та води (рис.4.7-4.8) на досліджувані критерії є прямо пропорційним, розпад та початок набору когезійної міцності збільшуються з додаванням цих компонентів.

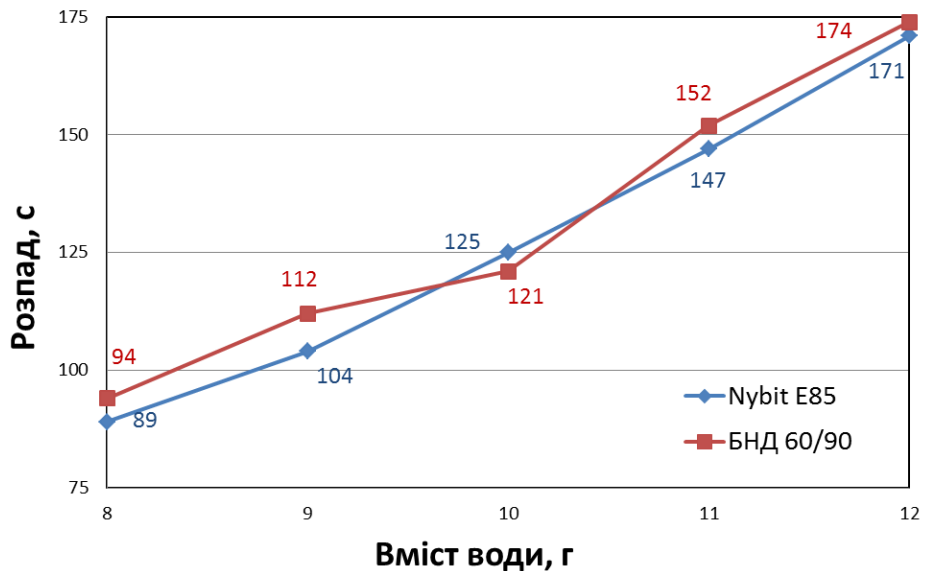


Рис.4.8. Вплив води на розпад ЛЕМС на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 (П=1,0 г) та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта» (П=0,75 г)

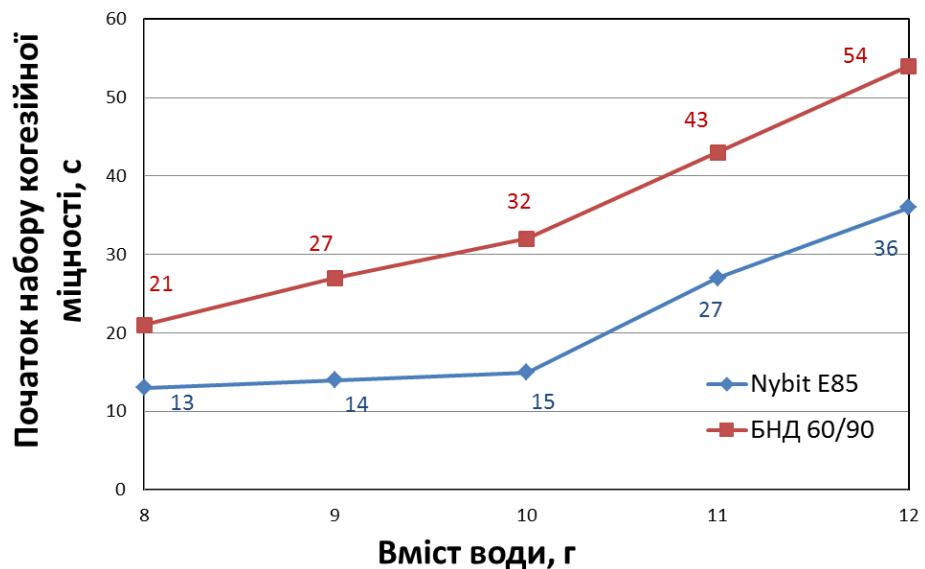


Рис.4.9. Вплив води на початок набору когезійної міцності ЛЕМС на основі дистиляційного бітуму Nybit E85 (П=1,0 г) та окисленого бітуму БНД 60/90 «Укртатнафта» (П=0,75 г).

Аналізуючи дані табл.4.1 та рис. 4.2-4.9 підсумовуємо, що збільшуючи вміст присадки, бітумної емульсії, води час розпаду та початку набору когезійної

міцності ЛЕМС збільшується, відповідно зменшення вмісту цих компонентів сповільнює кінетику цих процесів. Вміст цементу в ЛЕМС до знайденого лабораторним шляхом граничного значення також збільшує час розпаду суміші та початку набору когезійної міцності, але за перевищення цього значення цемент зменшує цей час.

#### **4.1.2 Вплив ступеня дисперсності бітумної емульсії на розпад суміші**

Ступінь дисперсності бітумної емульсії – це розмір крапель бітуму в емульсії та їх розподілення в об'ємі. Дисперсність емульсії в основному залежить від бітуму та його якості, обладнання для виробництва емульсії та температури процесу, від ПАР, що включають в склад емульсії. Дисперсність емульсії впливає на такі її властивості, як однорідність, стійкість під час зберігання, в'язкість, індекс розпаду, змішуваність із сумішами різних зернових складів, адгезію до мінерального матеріалу, огортання кам'яного матеріалу під час перемішування.

Дисперсність бітумної емульсії спрощено визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [133] за показником однорідності, тобто масою часток в'язучого розміром більше 0,14 мм. Але цей метод дає тільки поверхнєве уявлення про дисперсність емульсії, тому було використано метод статичного розсіювання світла (лазерної дифракції).

Для випробування було взято рецепт бітумної емульсії №4.3 на БНД 60/90 «Укртатнафта» (табл. 4.3). Один зразок БЕ (1Лаб) був виготовлений на лабораторній бітумно-емульсійній установці SEP-0,3R Данської компанії «Денімотех», інший БЕ (2Пром) на промисловій бітумно-емульсійній установці EmulTEK компанії Текнотак (Туреччина). Результати лазерної дифракції БЕ 1Лаб наведено на рис.4.10, а БЕ 2Пром на рис. 4.11.

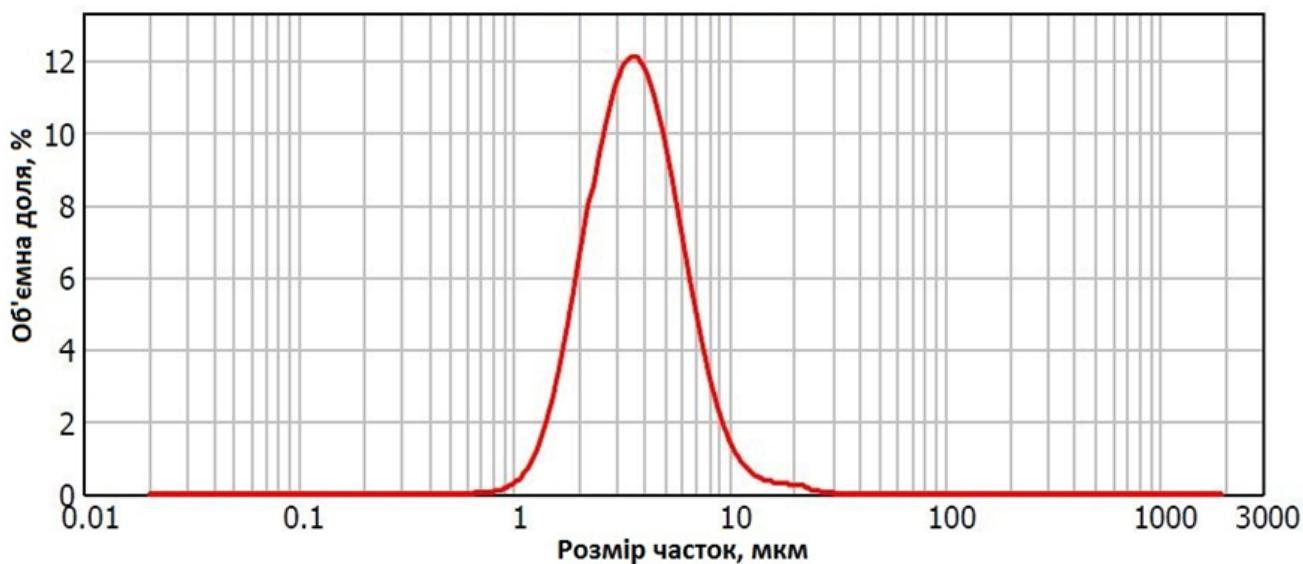


Рис. 4.10 Дисперсність БЕ (1Лаб)

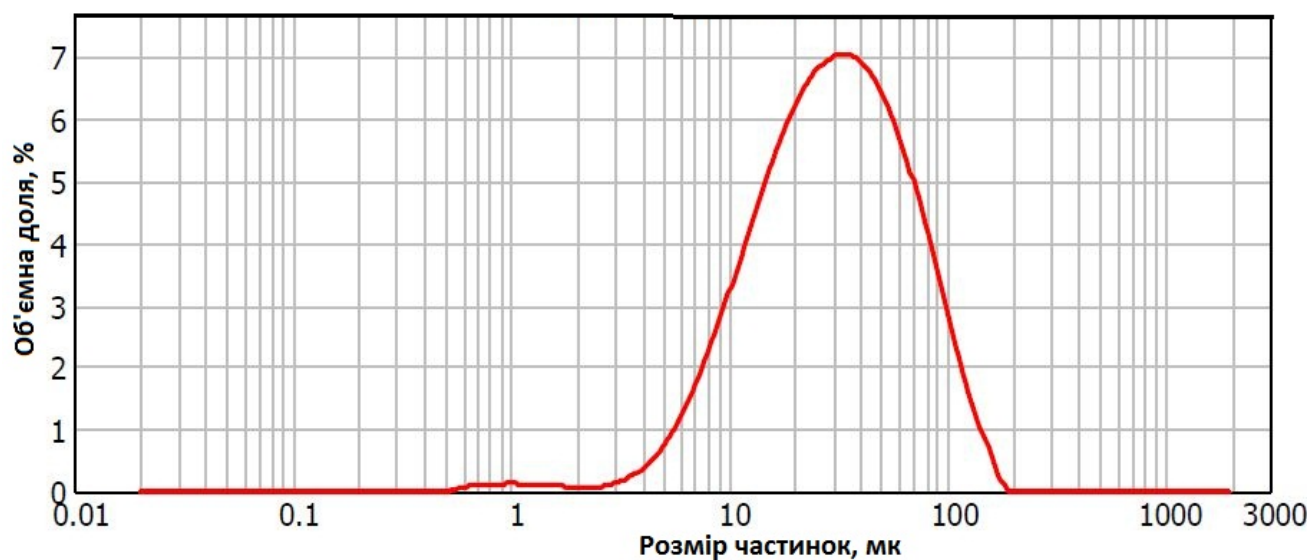


Рис. 4.11 Дисперсність БЕ (2Пром)

До основних показників, що встановлені завдяки лазерної дифракції емульсій відносять:

1)  $D_{10}$  – розмір часток в мкм, за якого частка частинок менше цього розміру дорівнює 10%;

2)  $D_{50}$  – медіанний розмір часток в мкм, який ділить весь розподіл на дві рівні частини. Медіанний розмір показує значення в мк, за якого розмір частинок менше цього і більше цього розміру дорівнює 50%;

3)  $D_{90}$  – розмір часток в мкм, за якого частка частинок менше цього розміру дорівнює 90%;



4)  $D[3,2]$  – середньозважений на площу поверхні середній діаметр Саутера, мкм;

5)  $D[4,3]$  – середньозважений на об'єм діаметр Де Бруокера чи Хардена, мкм;

Показники лазерної дифракції БЕ 1Лаб та БЕ 2Пром наведені в табл. 4.2

Таблиця 4.2

Показники лазерної дифракції бітумних емульсій

Показники, розмірність	Фактичні значення БЕ		Рекомендації згідно [160], мк
	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	-

В праці [72] наголошується, що більш дрібні і монодисперсні частинки сприяють оптимізації таких властивостей емульсії, як в'язкість, швидкість розпаду і адгезія, найкращі результати дає вузький діапазон розподілу дрібних частинок 1-5 мкм. А в БЕ 2Пром розмір частинок коливається від 1-100 мкм (рис. 4.11).

Аналізуючи дані табл.4.2 питома поверхня частинок бітуму в БЕ 1Лаб (1,85 м<sup>2</sup>/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) також більший ніж в БЕ 2Пром (18,312 мкм). Показники D 10, D 50, D 90 БЕ 2Пром не відповідають рекомендаціям [160]. 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 пояснюємо недосконалістю промислового емульсійного обладнання, зокрема колоїдного млина. Ймовірними причинами отримання не якісної емульсії є: недостатній інтервал між статорною і роторною частинами колоїдного млина, швидкість обертання не відповідна, відсутній потрібний зворотній тиск, млин

зношений. Загалом проаналізувавши, рис.4.10 та рис. 4.11 і табл. 4.2 підсумовуємо, що в БЕ 2Пром розмір диспергованих частинок бітуму є завеликим.

На основі БЕ 1Лаб та БЕ 2Пром, щебеню Клесівського кар'єру нерудних копалин «Технобуд» (показник МС=9 мл, розрахунковий грансклад 0-10) були запроєктовані склади ЛЕМС за критерієм розпаду (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Склади ЛЕМС на бітумних емульсіях 1Лаб та 2Пром

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				P <sub>≥</sub> 120с (тип 2)
	Цемент	Вода	Присадка	БЕ	
	1Лаб				
1.1Лаб	1,0	10	1,0	14	123
	2Пром				
2.1Пром	1,0	10	-	14	-
2.2Пром	1,0	10	0,25	14	358

Розглянувши табл. 4.3 робимо висновок, що розпад БЕ 2Пром є нестабільним, тому що без присадки розпад суміші відбувається моментально, а з включення мінімальної кількості присадки розпад суміші настає надзвичайно пізно, що призведе до пізнього твердження покриття та низької швидкості набору когезійної міцності. Виготовлення ЛЕМС на БЕ 2Пром є неефективним саме через завеликий розмір частинок бітуму в емульсії та відповідно незадовільних показників лазерної дифракції цієї емульсії.

## **4.2 Вплив технологічних та зовнішніх чинників на процес набору когезійної міцності ЛЕМС**

Серед чинників, що впливають на швидкість формування ТП із ЛЕМС виділимо внутрішні та зовнішні. До внутрішніх віднесемо: загальну поверхневу активність кам'яного матеріалу, особливості його гранскладу, також походження, вид, кислотність та структурний тип бітуму, тип та склад бітумної емульсії, тип

(особливості гранскладу) запроєктованої суміші. До основних зовнішніх належить температура та вологість навколишнього середовища.

#### 4.2.1 Основні показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС

В розділі 2.2.4 проаналізовано вісім стадій взаємодії катіонної бітумної емульсії з кислим мінеральним матеріалом в процесі формування ТП та обґрунтовано наступні показники швидкості набору когезійної міцності: розпад суміші, початок набору когезійної міцності, експрес показник формування суміші, схоплювання, самоущільнення, затвердіння.

Швидкість формування ЛЕМС було запропоновано ділити на певні етапи з відповідними характеристиками міцності та часовими рамками (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Вимоги до швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС

Час для досягнення потрібної когезійної міцності, год	Характеристики міцності			Етапи формування ЛЕМС
	Характер руйнування	Значення крутного момент, 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	Самоущільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год)
-	«S» – Spin	23	0,48	Ущільнення
Не більше 4	«SS» – Solid Spin	26	0,55	*Затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості)
*Після даного етапу протікає етап остаточного набору когезійної міцності (Доущільнення)				

ЛЕМС також класифікують на 5 класів за критерієм швидкості набору когезійної міцності відповідно до етапів схоплювання та самоущільнення, згідно з

табл. 4.5, яка була розроблена на основі [132] з певними корективами та рис.4.12 [32].

Границю міцності на зсув обчислюють за формулою:

$$\tau = \frac{16 \times M_o}{\pi \times d^3} = 0,021 \times M_o, \quad (4.1)$$

де  $\tau$  – границя міцності на зсув, МПа;  $M_o$  – крутний момент, кгс×см;

$d$  – діаметр гумового наконечника,  $d = 29 \times 10^{-3}$  м.

Таблиця 4.5

Класифікація ЛЕМС за критерієм швидкості набору когезійної міцності

Клас суміші	Етапи формування	Час, в год (хв.), до досягнення границі міцності на зсув, $\tau$	
		0,26 МПа	0,42 МПа
1	Повільне схоплювання, повільне відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоуцілювання)	більше 0,5 (30)	Більше 1 (60)
2	Швидке схоплювання, повільне відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоуцілювання)	не більше 0,5 (30)	більше 1 (60)
3	Фіктивне схоплювання, повільне відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоуцілювання)	не більше 0,33 (20)	Більше 1 (60)
4	Швидке схоплювання, швидке відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоуцілювання)	не більше 0,5 (30)	не більше 1 (60)
5	Надшвидке схоплювання, надшвидке відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год (самоуцілювання)	не більше 0,33 (20)	не більше 0,75 (45)

Згідно з табл. 4.5 та рис.4.12 клас суміші ЛЕМС встановлюємо залежно від етапів схоплювання та самоуцілювання ЛЕМС .

Отже, основними показниками швидкості набору когезійної міцності запропоновано вважати: розпад суміші (Р), початок набору когезійної міцності (ПКМ), експрес показник формування суміші (ФС), схоплювання (Сх),

самоуцільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год), затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості) та клас суміші.

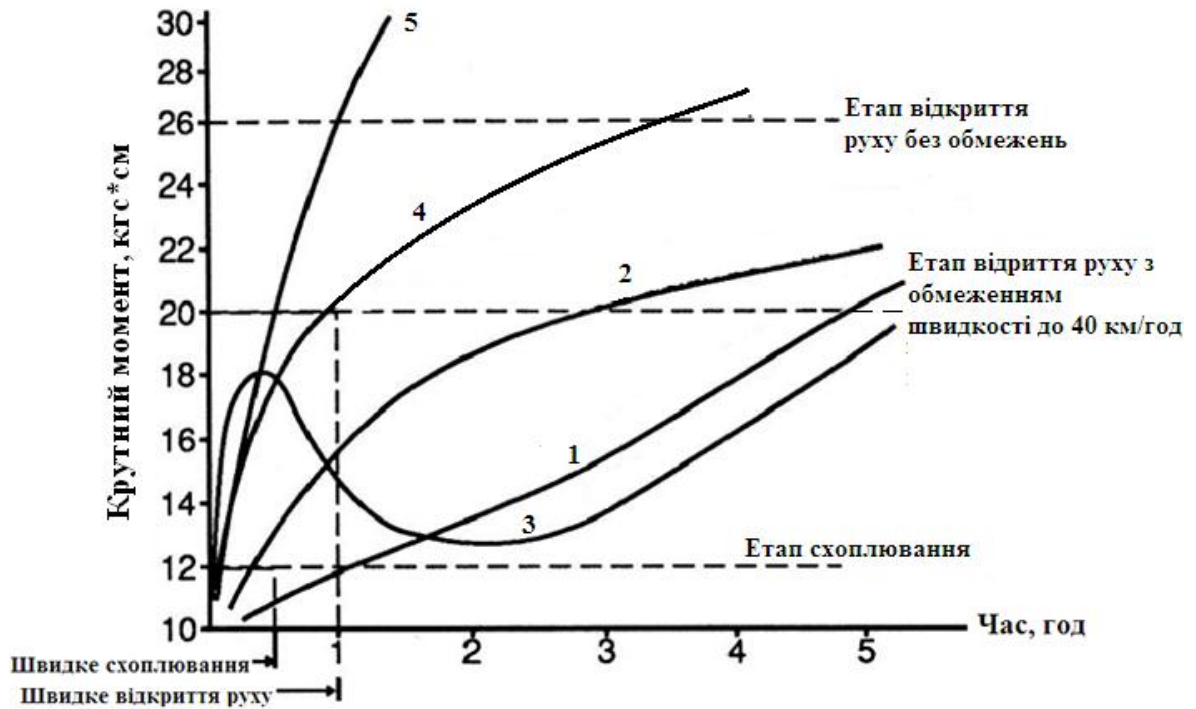


Рис.4.12 Графік розподілу ЛЕМС на класи згідно з [44]

На рис. 4.13 проілюстровано основні показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС.

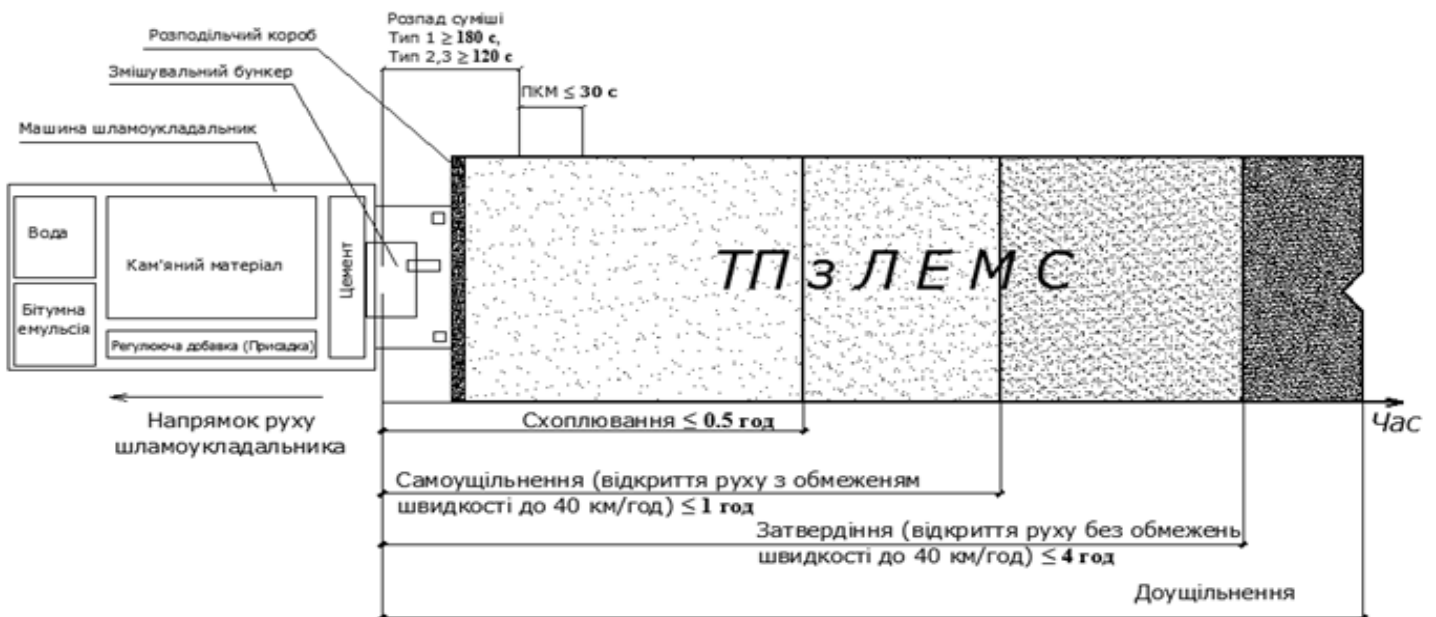


Рис. 4.13 Основні показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС

#### 4.2.2 Вплив типу суміші та загальної поверхневої активності кам'яних матеріалів на розпад та швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі дистиляційних та окислених бітумів

Для визначення впливу кожного з трьох типів сумішей та загальної поверхневої активності кам'яного матеріалу на показники когезійної міцності використали розрахункові склади 0-5, 0-10, 0-15 щебеневого відсіву та щебеню Клесівського кар'єру нерудних копалин «Технобуд» (показник МС=9 мл) та кар'єру ПАТ Ушицького комбінату будівельних матеріалів (показник МС=20 мл). Як в'язучі були використані дистиляційний бітум Nubit E85 (БЕ №2, табл.3.4) та окислений БНД 60/90 «Укртатнафта» (БЕ №4.1, табл.3.4). Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду наведені в табл.4.4 на БЕ №2, табл.4.5 на БЕ №4.1.

Таблиця 4.6

Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на БЕ №2

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				Р <sub>≥ 180с</sub> (тип 1) Р <sub>≥ 120с</sub> (тип 2,3)	ПКМ,с
	Цемент	Вода	Присадка	БЕ №2		
Клесівський відсів, грансклад 0-5, Тип 1						
2.1	1,5	10	2,0	14	185	14
Клесівський щебінь, грансклад 0-10, Тип 2						
2.2	1,25	10	1,25	14	124	10
Клесівський щебінь, грансклад 0-15, Тип 3						
2.3	1,25	10	1,0	14	122	5
Ушицький відсів, грансклад 0-5, Тип 1						
2.4	1,75	10	3,25	14	181	24
Ушицький щебінь, грансклад 0-10, Тип 2						
2.5	1,5	10	2,75	14	122	19
Ушицький щебінь, грансклад 0-15, Тип 3						
2.6	1,5	10	1,5	14	147	15

Неоптимальний за критерієм МС Ушицький відсів та щебінь вимагає включення в склад сумішей на дистиляційному і на окисленому бітумах більшої кількості присадки, ніж оптимальний за цим критерієм Клесівський щебінь (табл.4.6 – 4.7). Велика кількість дрібних глинистих і пилюватих частинок, що

присутня в Ушицькому кам'яному матеріалі викликає передчасний розпад суміші через високу поверхневу активність цих часток. Саме тому потрібно включати в склад ЛЕМС значну кількість присадки для забезпечення нормативного показника розпаду суміші.

Водночас, як на дистиляційному, так і на окисленому бітумі спостерігаємо, що із збільшенням крупних фракцій кам'яного матеріалу і зменшенням дрібних, суміш потребує меншої кількості присадки. Це пояснюється тим, що більшість поверхнево активних глинистих і пилюватих частинок, що спричиняють передчасний розпад суміші, зосереджуються в дрібних фракціях кам'яного матеріалу. Тому потреба в присадці, яка продовжує розпад суміші, зменшується із зменшенням в сумішах дрібних фракцій. Ця особливість разом із меншою товщиною вкладання суміші пояснюють вищий нормативний час розпаду суміші для типу 1 (0-5) ( $\geq 180$  с) ніж у сумішах типу 2 та типу 3 ( $\geq 120$  с).

Таблиця 4.7

## Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на БЕ №4.1

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				Р $\geq$ 180с (тип 1) Р $\geq$ 120с (тип 2,3)	ПКМ,с
	Цемент	Вода	Присадка	БЕ №4.1		
	Клесівський відсів, грансклад 0-5, Тип 1					
4.1.1	1,25	10	1,75	14	182	34
	Клесівський щебінь, грансклад 0-10, Тип 2					
4.1.2	1,25	10	1,0	14	123	25
	Клесівський щебінь, грансклад 0-15, Тип 3					
4.1.3	1,25	10	0,75	14	122	21
	Ушицький відсів, грансклад 0-5, Тип 1					
4.1.4	1,5	10	3,5	14	185	44
	Ушицький щебінь, грансклад 0-10, Тип 2					
4.1.5	1,25	10	2,5	14	122	35
	Ушицький щебінь, грансклад 0-15, Тип 3					
4.1.6	1,25	10	1,25	14	147	32

Параметри, що виділені в табл. 4.8-4.9 характеризують такі етапи формування ЛЕМС, як самоущільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год) та затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості).

Під час аналізу табл. 4.8 встановлено, що склади 2.4, 2.5, 2.6 на дистиляційному бітумі з поверхнево активним ушицьким кам'яним матеріалом характеризуються нижчою швидкістю набору когезійної міцності ЛЕМС ніж склади 2.1, 2.2, 2.3 з клесівським заповнювачем. Але завдяки природним якостям дистиляційного бітуму навіть склади ЛЕМС 2.4– 2.6 є ефективними з точки зору кінетики набору міцності ТП.

Таблиця 4.8

Показники швидкості набору когезійної міцності оптимальних складів ЛЕМС за критерієм розпаду на основі БЕ №2

№ складу	Час випробування, год	Характеристики міцності		
		Характер руйнування	Прикладений крутний момент, $M_0$ , кг*см	Границя міцності на зсув, $\tau$ , МПа
Клесівський кам'яний матеріал				
2.1	<b>0,5</b>	<b>NS</b>	<b>21</b>	<b>0,441</b>
	<b>0,75</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	<b>0,546</b>
2.2	<b>0,25</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	<b>0,42</b>
	0,5	S	24	0,504
	<b>0,75</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	<b>0,546</b>
2.3	0,25	S	23	0,504
	<b>0,5</b>	<b>SS</b>	<b>27</b>	<b>0,567</b>
Ушицький кам'яний матеріал				
2.4	<b>0,5</b>	N	12	0,252
	<b>0,75</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	<b>0,42</b>
	<b>1,0</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	<b>0,546</b>
2.5	<b>0,5</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	<b>0,42</b>
	<b>0,75</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	<b>0,546</b>
2.6	<b>0,5</b>	<b>NS</b>	<b>22</b>	<b>0,441</b>
	<b>0,75</b>	<b>SS</b>	<b>27</b>	<b>0,546</b>



Таблиця 4.9

Показники швидкість набору когезійної міцності оптимальних складів ЛЕМС за критерієм розпаду на основі БЕ №4.1

№ складу	Час випробування, год	Характеристики міцності		
		Характер руйнування	Прикладений крутний момент, $M_0$ , кг*см	Границя міцності на зсув, $\tau$ , МПа
Клесівський кам'яний матеріал				
4.1.1	0,5	N	10	0,189
	1,0	N	10	0,21
	2,0	N	11	0,231
	<b>4,0</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	<b>0,42</b>
	5,5	S	23	0,483
	<b>6,0</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	<b>0,546</b>
4.1.2	0,5	N	12	0,252
	1,0	N	13	0,273
	<b>3,5</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	<b>0,42</b>
	4,0	S	23	0,483
	<b>5,5</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	<b>0,546</b>
4.1.3	0,5	N	12	0,252
	1,0	N	12	0,252
	<b>3,0</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	<b>0,42</b>
	4,0	S	23	0,483
	<b>5,0</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	0,546
Ущицький кам'яний матеріал				
4.1.4	0,5	N	10	0,21
	1,0	N	10	0,21
	<b>5,5</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	<b>0,42</b>
	7,0	S	23	0,483
	<b>8,0</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	0,546
4.1.5	0,5	N	10	0,21
	1,0	N	11	0,231
	<b>5,0</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	0,42
	6,5	S	23	0,483
	<b>7,5</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	0,546
4.1.6	0,5	N	11	0,231
	1,0	N	12	0,252
	<b>4,5</b>	<b>NS</b>	<b>20</b>	<b>0,42</b>
	6,5	S	23	0,483
	<b>7,0</b>	<b>SS</b>	<b>26</b>	<b>0,546</b>

Аналіз табл. 4.9 показав, що склади ЛЕМС №4.1.4-4.1.6 на окисленому бітумі з поверхнево активним ущицьким кам'яним матеріалом також характеризуються меншим приростом міцності ніж склади №4.1.1–4.1.3 на клесівському кам'яному матеріалі. Якщо порівнювати швидкість зростання когезії ЛЕМС на окисленому бітумі та ущицькому і клесівському матеріалах відповідно до підібраних гран складів 0-5, 0-10, 0-15 (склади 4.1.1 з 4.1.4, 4.1.2 з 4.1.5 та 4.1.3 з 4.1.6) то спостерігаємо що, етапи формування ЛЕМС самоущільнення та затвердіння на ущицькому матеріалі настають на 1,5-2 години пізніше порівняно із значно менш поверхнево активним клесівським. Також жоден з складів №4.1.1-4.1.6 не є ефективним згідно з вимогами до швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС (табл.4.4). Це пояснюється використанням неоптимального окисленого бітуму для ЛЕМС.

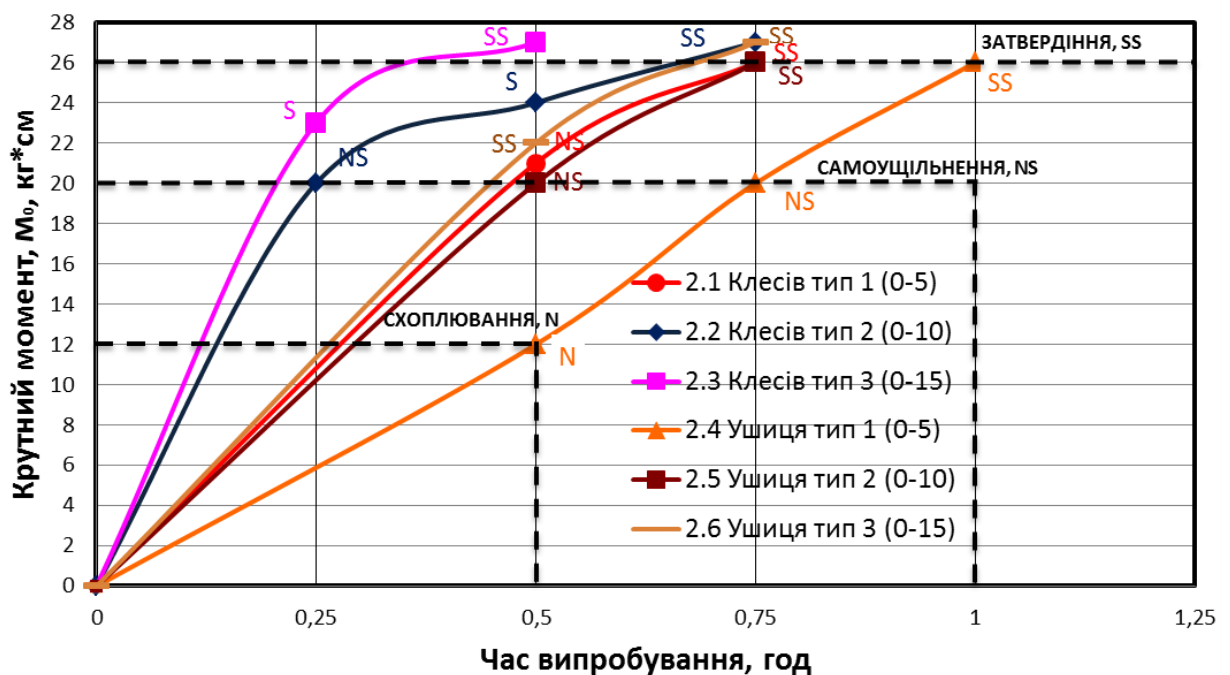


Рис. 4.14 Швидкість набору когезійної міцності оптимальних складів ЛЕМС за критерієм розпаду на основі БЕ №2

Аналіз рис. 4.14 та 4.15 свідчить, що з огляду на швидкість набору когезійної міцності, застосування неоптимального ущицького кам'яного матеріалу можливе тільки за використання дистиляційного бітуму. Порівнюючи найповільніший склад №2.4 за приростом когезійної міцності на ущицькому відсіві та дистиляційному бітумі з найшвидшим складом №4.1.5 на цьому ж

ушицькому кам'яному матеріалі та окисленому бітумі видно, що рух транспорту по ТП можемо відкривати з обмеженнями на 3,75 години раніше і без обмежень на 6 годин раніше в першому варіанті. Відповідно навіть за використання високо поверхневого активного ушицького кам'яного матеріалу, що призводить до великого вмісту присадки в суміші, ЛЕМС на основі дистиляційному бітуму демонструють значно вищу швидкість когезійної міцності ніж ЛЕМС на основі окислених бітумів.

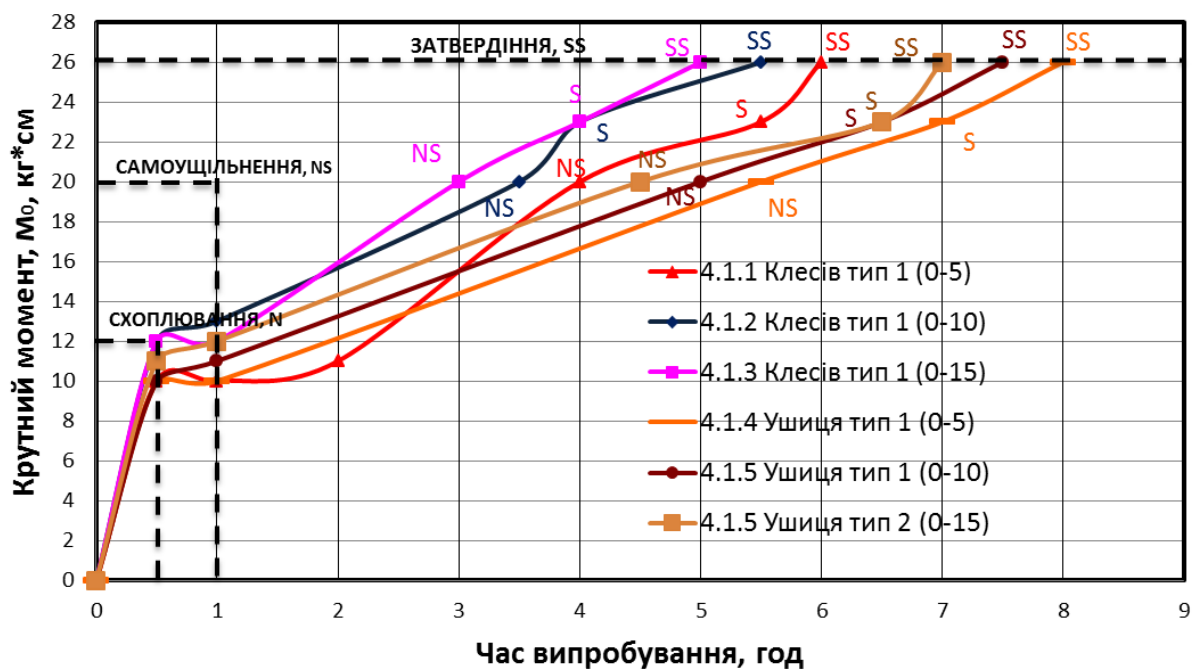


Рис. 4.15 Швидкість набору когезійної міцності оптимальних складів ЛЕМС за критерієм розпаду на основі БЕ №4.1

Проаналізувавши рис. 4.14 – 4.15 незалежно від використаного бітуму та кам'яного матеріалу швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС буде вищою у сумішах типу 2 (0-10) та типу 3 (0-15), адже тип 1 (0-5) вимагає більшої кількості присадки. При цьому, тип суміші 3 дозволяє досягти найкращого приросту когезійної міцності: етапи самоущільнення та затвердіння суміші настають на 0,5 год та 1,0 год швидше ніж для суміші типу 2 та типу 1 відповідно.

Отже, 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 використанням гран складу кам'яного матеріалу, що відповідає типу суміші 1 (0-5).

#### 4.2.3 Швидкість формування покриття на дистиляційних та окиснених бітумах

Визначення швидкості формування тонкошарового покриття на дистиляційних бітумах відбувалось із використанням бітумів Nynas 100/150 (БЕ №1, табл. 3.4) та Nybit E85 (БЕ №2, табл. 3.4), окислених за допомогою бітумів БНД 60/90 «Мозирський НПЗ» (БЕ №3.1, табл. 3.4) та БНД 60/90 «Укртатнафта» (БЕ №4.1, табл. 3.4). Як заповнювач використали кам'яний матеріал ВАТ «Томашгородського щебеневого заводу» (розрахунковий грансклад 0-10, МС=10 мл).

Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС оцінювали за допомогою запропонованих показників: розпад суміші (Р), початок набору когезійної міцності (ПКМ), експрес показник формування суміші (ФС), схоплювання (Сх), самоущільнення (С), затвердіння (З) та клас суміші (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі бітумних емульсій з використанням окислених та дистиляційних бітумів

№ складу БЕ та використаний бітум	Показники швидкості набору когезійної міцності						
	Р,с	ПКМ,с	ФС	Сх, год	С, год	З, год	Клас суміші
1.Nynas 100/150	>120	<30	+	<0,25*	0,25	0,75	5
2.Nybit E85							
3.1БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»		>30	-	0,5	3,5	5,5	2
4.1БНД 60/90 «Укртатнафта»					4,0	6,0	

\*Етап формування ЛЕМС – схоплювання на дистиляційних бітумах настає, як правило, досить швидко, тому не завжди вдається його зафіксувати.

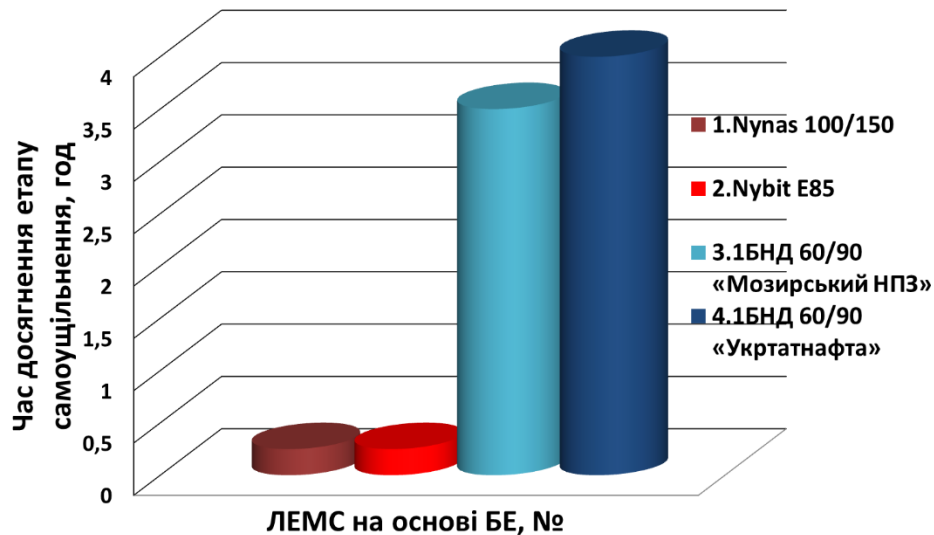


Рис. 4.16 Час досягнення етапу самоуцільнення на дистиляційних та окислених бітумах

Дані табл. 4.10 та рис. 4.16 – 4.17 підтверджують попередні результати досліджень, що дистиляційні бітуми є оптимальними в'язучими для ЛЕМС. Суміш на дистиляційних бітумах характеризується над швидким захопленням, самоуцільненням та затвердінням. Відкриття руху транспорту з обмеженням швидкості до 40 км/год по ТП з ЛЕМС відбувається на 3,25–3,75 години швидше ніж на окислених, а відкриття руху без обмежень швидкості відбувається 4,75–5,25 години швидше.

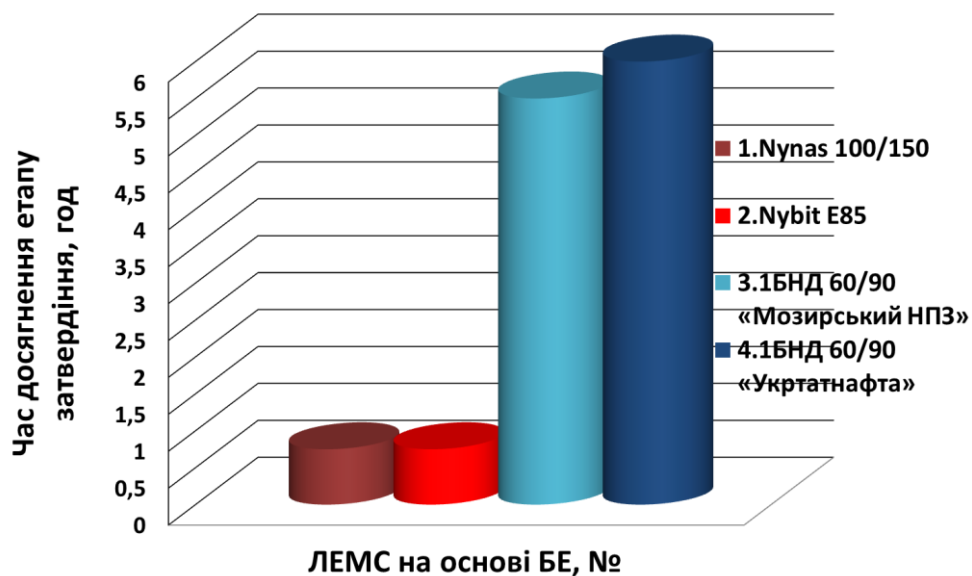


Рис. 4.17 Час досягнення етапу затвердіння на дистиляційних та окислених бітумах

#### 4.2.4 Температура навколишнього середовища в процесі твердіння ЛЕМС

Відомо, що ТП з ЛЕМС влаштовуються за температури + 5°C, якщо вона має тенденцію до підвищення і не використовуються, якщо температура повітря або покриття знижується до плюс 10°C та нижче і продовжує знижуватись [161]. Але залишається не відомим якою мірою зміна температури навколишнього середовища протягом всього дорожнього сезону впливатиме на можливість виготовлення ЛЕМС з високою швидкістю набору когезійної міцності суміші. Ще одним важливим погодно-кліматичним чинником в процесі виготовлення та твердіння ЛЕМС є вологість повітря. Дослідження проводили за трьох температурних режимів: 10°C (висока вологість), 20°C (нормальна вологість), 30°C (висока вологість). Визначення швидкості набру когезійної міцності ЛЕМС за різної температури відбувалось на дистиляційному бітумі Nybit E85 (БЕ №2, табл.3.4), та окисленому БНД 60/90«Укртатнафта» (БЕ №4.1, табл.3.4), кам'яному матеріалі з кар'єру ВАТ «Полонський гірничий комбінат» (розрахунковий грансклад 0-10, МС=10 мл). В табл. 4.11 та 4.12 наведено запроєктовані склади ЛЕМС за критерієм розпаду на основі використаних бітумів за різних температур.

Таблиця 4.11

Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на БЕ №2 залежно від температурного режиму

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				R <sub>≥</sub> 120с (тип 2)
	Цемент	Вода	Присадка	БЕ №2	
T=10°C					
2.7	0,75	10	0,75	14	125
T=20°C					
2.8	1,0	10	1,25	14	121
T=30°C					
2.9	1,5	12	2,25	14	122

Таблиця 4.12

Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на БЕ №4.1 в залежності від температурного режиму

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				$P \geq 120$ с (тип 2)
	Цемент	Вода	Присадка	БЕ №4.1	
	$T=10^{\circ}\text{C}$				
4.1.7	0,5	10	0,5	14	123
	$T=20^{\circ}\text{C}$				
4.2.8	1,0	10	1,0	14	122
	$T=30^{\circ}\text{C}$				
4.2.9	1,25	11	1,75	14	122

Аналізуючи дані табл.4.11 та 4.12, як на дистиляційному, так і на окисленому бітумах збільшення температури проведення випробування вимагає збільшення вмісту у складах цементу та присадки. Різниця у вмісті цементу за  $T=10^{\circ}\text{C}$  та  $T=30^{\circ}\text{C}$  складає 0,75 частини, присадки 1,25-1,5 частини. Також за  $T=30^{\circ}\text{C}$  ЛЕМС потребує дещо більше води.

Таблиця 4.13

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

Використаний бітум, температура твердіння	Показники швидкості набору когезійної міцності						Клас суміші
	$P, \text{с}$	ПКМ,с	ФС	$S_x, \text{год}$	$S, \text{год}$	$Z, \text{год}$	
2.7 Nybit E85, $T=10^{\circ}\text{C}$	$>120$	$<30$	+	$<0,75$	0,75	1,0	5
2.8 Nybit E85, $T=20^{\circ}\text{C}$				$<0,25$	0,25	0,75	
2.9 Nybit E85, $T=30^{\circ}\text{C}$				$<0,17$	0,17	0,5	
4.1.7 БНД 60/90 «Укртатнафта», $T=10^{\circ}\text{C}$	$>120$	$>30$	-	0,5	5,0	7,0	2
4.2.8 БНД 60/90 «Укртатнафта», $T=20^{\circ}\text{C}$					4,0	6,0	
4.2.9 БНД 60/90 «Укртатнафта», $T=30^{\circ}\text{C}$					3,5	5,5	

Вплив температурного режиму навколишнього середовища на показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС наведені в табл. 4.13 та на рис. 4.18 – 4.19.

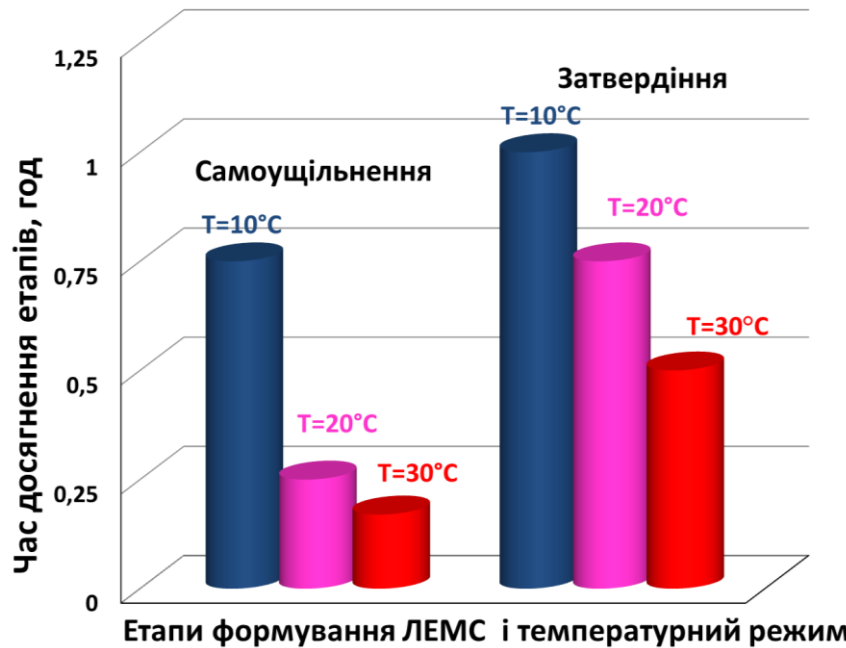


Рис. 4.18 Час досягнення етапу самоуцільнення та затвердіння на дистильційному бітумі Nybit E85 за різних температур

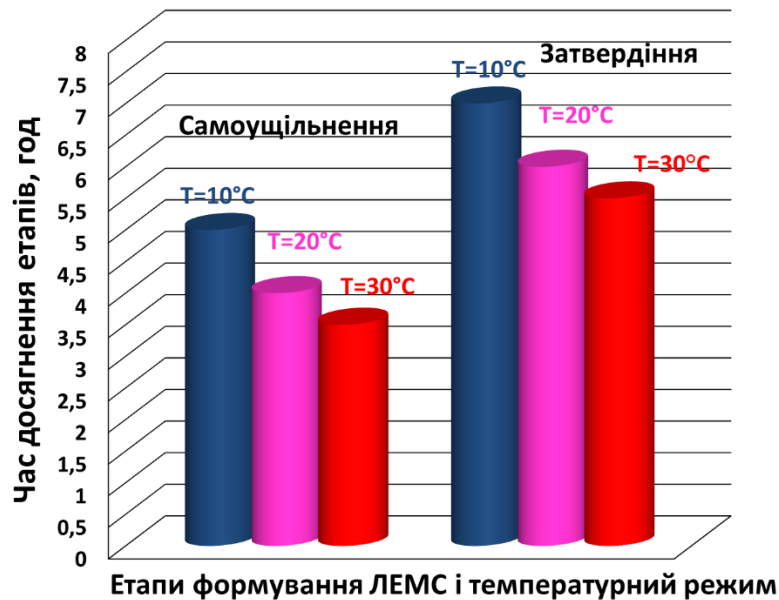


Рис. 4.19 Час досягнення етапу самоуцільнення та затвердіння на окисленому бітумі БНД 60/90 «Укртатнафта» за різних температур

На рис. 4.18 та рис. 4.19 спостерігаємо, що зменшення температури навколишнього середовища знижує швидкість твердіння суміші. Це спричинено повільнішим випаровуванням та відділенням води з бітумної емульсії та суміші



загалом. Хоча за високих температур ЛЕМС потребує більшої кількості присадки, що погіршує показники твердіння суміші. Але ця особливість не відіграє такої важливої ролі, як температура і вологість повітря в процесі твердіння ЛЕМС. Яскраво простежується повільне твердіння суміші за гранично низької температури влаштування ЛЕМС ( $T=10^{\circ}\text{C}$ ). Але використання дистиляційного бітуму в ЛЕМС дає змогу виготовляти суміш навіть за низьких температур та підвищеної відносної вологості повітря без значних витрат часу на її твердіння (рис 4.18). ЛЕМС на основі окисленого бітуму навіть за високої температури ( $T=30^{\circ}\text{C}$ ) не є ефективною за розвитком процесу формування ТП (рис. 4.19).

### 4.3 Прискорювачі швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС

Метою включення прискорювачів швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС є зниження часу настання етапів самоущільнення суміші ( $C \leq 1$  год) та затвердіння ( $Z \leq 4$  год).

Як прискорювачі швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС були використані спів-емульгатори, полімерні модифікатори – латекси та місцевий матеріал ІКС. Спів-емульгатор Redicote 505 включали в рецепти БЕ 3.2 та БЕ 4.2 (табл.3.4), спів-емульгатор Redicote 540 в БЕ 4.3 (табл.3.4). Синтетичними латексами Tortex А та Tortex В модифікували БЕ 4.4 та БЕ 4.5 відповідно, натуральним латексом Algoltex С модифікували БЕ 4.6 (табл.3.6). Місцевими матеріалом ІКС модифікували окислений бітум №4 БНД60/90 «Укртатнафта» (табл. 3.1 та 3.2) та отримали бітум №5 БНД 60/90 з ІКС (табл. 3.1 та 3.2) Використавши модифікований бітум №5 виготовили БЕ№5 (табл.3.6).

На основі вихідних складів бітумних емульсій (без прискорювачів) БЕ 3.1 та БЕ 4.1 та емульсій з прискорювачами: БЕ 3.2, БЕ 4.2, БЕ 4.3, БЕ 4.4, БЕ 4.5, БЕ 4.6, БЕ№5, БЕ№6 та кам'яного матеріалу ВАТ «Томашгородського щебеневого заводу» (розрахунковий грансклад 0-10, МС=10 мл) та кам'яного матеріалу кар'єру ПАТ Ушицького комбінату будівельних матеріалів (розрахунковий грансклад 0-10, показник МС=20 мл) були виготовлені ЛЕМС за критерієм розпаду (табл. 4.14 і 4.15).

Таблиця 4.14

Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на основі Клесівського кам'яного матеріалу та бітумних емульсій з прискорювачами та без їх включення

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				R <sub>≥</sub> 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 Tortex А на БНД 60/90 «Укртатнафта				
4.4.1	1,0	10	0,8	14	125
	БЕ № 4.5 із Tortex 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

Аналізуючи оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на основі Клесівського та Ушицького кам'яного матеріалу та бітумних емульсій з прискорювачами та без їх включення встановлюємо, що загалом поверхнево активний Ушицький кам'яний матеріал вимагає включення в склад ЛЕМС більшої кількості присадки, що позначиться на прирості когезійної міцності суміші. Також прослідковуємо незначну відмінність вмісту цементу у складах ЛЕМС.

Таблиця 4.15

Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на основі Ушицького кам'яного матеріалу та бітумних емульсій з прискорювачами та без їх включення

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				R <sub>≥ 120с</sub>
	Цемент	Вода	Присадка	Бітумна емульсія	
	БЕ №3.1 на БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»				
3.1.2	1,25	10	2,5	14	124
	БЕ № 3.2 із Redicote 505 на БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»				
3.2.2	1,0	10	2,0	14	123
	БЕ №4.1 на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.1.5	1,25	10	2,5	14	122
	БЕ № 4.2 із Redicote 505 на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.2.4	1,0	10	2,0	14	125
	БЕ № 4.3 із Redicote 540 на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.3.2	1,0	10	1,75	14	122
	БЕ № 4.4 із Torptex А на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.4.2	1,0	10	1,75	14	125
	БЕ № 4.5 із Torptex В на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.5.2	1,25	10	1,75	14	126
	БЕ №4.6 Algoltex С на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.6.2	1,25	10	1,75	14	125
	БЕ №5 на БНД 60/90 із ІКС				
5.2	1,25	10	2,0	14	124

Показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС із вищенаведеними бітумними емульсіями та клесівським кам'яним матеріалом наведені в табл. 4.16, а з ушицькими кам'яним матеріалом табл. 4.17.

Проаналізувавши табл. 4.16 бачимо, що найефективнішим прискорювачем швидкості набору когезійної міцності на основі окисленого бітуму та клесівського кам'яного матеріалу за показником затвердіння суміші є спів-емульгатор Redicote 540. Якщо ж розглядати ЛЕМС, як систему, що призначена для раннього відкриття руху транспортних засобів (показник схоплювання  $\leq 1$  год) та прискорювачі Redicote 540, Redicote 505 та ІКС є однаково ефективними. Відповідно склади ЛЕМС: 1 БЕ 3.2 Redicote 505, 2.1 БЕ 4.2 Redicote 505, 3.1 БЕ

4.3 Redicote 540, 7.1 БЕ №5 ІКС, відповідають класу суміші 4, що передбачає швидке схоплювання суміші та швидке відкриття руху транспорту з обмеженням швидкості до 40 км/год. Вони можуть бути рекомендовані, як ЛЕМС, що забезпечують швидке відкриття руху транспорту з обмеженням.

Таблиця 4.16

Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі клесівського кам'яного матеріалу та бітумних емульсій з прискорювачами та без їх включення

№ складу БЕ та використаний прискорювач	Показники швидкості набору когезійної міцності						
	P,с	ПКМ,с	ФС	Сх, год	С, год	З, год	Клас суміші
3.1БНД 60/90 «Мозирський НПЗ» без прискорювача	>120	>30	-	0,5	3,5	5,5	2
4.1БНД 60/90 «Укртатнафта» без прискорювача					4,0	6,0	
1.БЕ 3.2 Redicote 505	>120	<30	+	0,5	1,0	3,0	4
2.БЕ 4.2 Redicote 505						3,0	
3.БЕ 4.3 Redicote 540						2,5	
4.БЕ 4.4 Toptex A		>30	-	0,5	3,0	5,0	2
5.БЕ 4.5 Toptex B							
6.БЕ 4.6 Algoltex C							
7.БЕ №5 ІКС							

Проаналізувавши табл. 4.17 бачимо, що використання в складах ЛЕМС не оптимального за критерієм МС ушицького кам'яного матеріалу призводить до погіршення показників швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС. Всі розглянуті склади з прискорювачами відносимо до 2 класу суміші, який вказує на швидке схоплювання суміші та повільне відкриття руху транспорту з обмеженням швидкості до 40 км/год.

Склади ЛЕМС із латексами Toptex A, Toptex B, Algoltex C показали однаково негативні результати прискорення показників швидкості набору когезійної міцності, як на клесівському, так і на ушицькому кам'яному матеріалах

(табл. 4.16 – 4.17) і тому не можуть бути рекомендовані, як ефективні системи ЛЕМС з точки зору швидкості твердження суміші.

Таблиця 4.17

Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі ушицького кам'яного матеріалу та бітумних емульсій з прискорювачами та без їх включення

№ складу БЕ та використаний прискорювач	Показники швидкості набору когезійної міцності						
	P,с	ПКМ,с	ФС	Cx, год	C, год	З, год	Клас суміші
3.1БНД 60/90 «Мозирський НПЗ» без прискорювача	>120	>30	-	0,5	4,75	7,25	2
4.1БНД 60/90 «Укртатнафта» без прискорювача					5,0	7,5	
1.1 БЕ 3.2 Redicote 505	>120	<30	+	0,5	2,0	4,0	2
2.1 БЕ 4.2 Redicote 505						4,0	
3.1 БЕ 4.3 Redicote 540						3,5	
4.1БЕ 4.4 Toptex А		>30	-	0,5	4,5	6,5	2
5.1БЕ 4.5 Toptex В							
6.1БЕ 4.6 Algoltex С							
7.1БЕ№5 ІКС							

Отже, робимо висновок, що прискорювачі Redicote 505, Redicote 540, ІКС, є максимально ефективні за використання оптимального кам'яного матеріалу за критерієм метилен синій. Латекси Toptex А, Toptex В, Algoltex С не є ефективними за використання клесівського чи ушицького кам'яних матеріалів.

#### 4.4 Визначення втрати маси матеріалу за вологого зносу (ВМВЗ) ЛЕМС

ВМВЗ ЛЕМС дає можливість визначити масову втрату водонасиченого матеріалу із суміші за механічного стирання гумовою поверхнею протягом 5 хв. Це випробування моделює зношення вологого ТП, а саме його масову втрату під час руху транспортних засобів. Це дослідження також дає змогу оцінити адгезію бітумного в'язучого до кам'яного матеріалу та мінімально потрібну кількість бітуму в суміші.

Втрату матеріалу під час вологого абразивного зносу обчислюють за формулою 4.2:

$$ВМВЗ = (m_0 - m_1) \times k, \quad (4.2)$$

де ВМВЗ – втрата маси матеріалу під час вологого зносу, г/м<sup>2</sup>;

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

$k$  – перевідний коефіцієнт, який залежить від марки змішувача і змінюється в діапазоні від 29 до 35. В нашому випадку для приладу Hobart C-100 (рис.4.20)  $k=32,9$ .



Рис. 4.20 Зразки з ЛЕМС перед випробуванням (зліва) та процес ВМВЗ за допомогою приладу Hobart C-100

Для визначення ВМВЗ ЛЕМС було взято ефективні склади ЛЕМС за критерієм швидкості набору когезійної міцності суміші: 1.Nynas 100/150, 2.Nybit E85, 1.БЕ 3.2 Redicote 505 , 2.БЕ 4.2 Redicote 505, 3.БЕ 4.3 Redicote 540, 7.БЕН№5 ІКС (табл. 4.16).

Аналіз табл. 4.18 свідчить, що найменші втрати матеріалу під час вологого зносу спостерігаємо у ЛЕМС на основі дистиляційних бітумів Nynas 100/150 та Nybit E85. Інші склади відповідають також вимозі СОУ [132], щодо ВМВЗ, але ЛЕМС із включенням спів-емульгаторів Redicote 505 та Redicote 540 є близькими до критичної регламентованої межі показника ВМВЗ не більше 530 г/м<sup>2</sup> згідно з [132].

## ВМВЗ ефективних складів ЛЕМС

Склад ЛЕМС	ВМВЗ, г/м <sup>2</sup>	Вимоги СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132]
1.Nynas 100/150,	33	Не більше 530 г/м <sup>2</sup>
2.Nybit E85	30	
1.БЕ 3.2 Redicote 505	490	
2.БЕ 4.2 Redicote 505	505	
3.БЕ 4.3 Redicote 540	473	
7.БЕН <sup>№</sup> 5 ІКС	59	

Це свідчить про недостатню адгезію бітумного в'язучого до кам'яного матеріалу в суміші або про недостатній вміст бітуму в суміші. Щоб забезпечити менший показник ВМВЗ в ці склади ЛЕМС потрібно включати адгезійні добавки або збільшувати вміст бітуму в емульсії чи вміст емульсії в ЛЕМС.

#### 4.5 Висновки до розділу

1. Експериментально встановлено вплив кожного з компонентів ЛЕМС на розпад суміші та початок набору когезійної міцності та виявлено прямо пропорційну залежність вмісту присадки, води, бітумної емульсії на ці показники. Оптимальний вміст присадки за критерієм розпаду коливається від 0,75 до 3,5 частини в суміші та залежить від технологічного походження бітуму, поверхневої активності заповнювача, типу суміші та вмісту інших компонентів. Потрібний вміст води та бітумної емульсії є близьким 10 та 14 частинам відповідно. 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.

2. Визначено вплив ступеня дисперсності бітумної емульсії виготовленої на лабораторній та промисловій установках на розпад суміші та встановлено, що за

розподілення краплин в бітумній емульсії повинно коливатись в інтервалі 0-10 мк, за інтервалу 0-100 мк виготовлення якісної ЛЕМС не можливо.

3. Запропоновано вважати основними показниками швидкості набору когезійної міцності: розпад суміші, початок набору когезійної міцності (ПКМ), експрес показник формування суміші, схоплювання, самоущільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год), затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості) та клас суміші.

4. Визначено, 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 використанням гран складу кам'яного матеріалу, що відповідає типу суміші 1 (0-5).

5. 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 (<0,5 год), повільним самоущільненням (>3,5 год.) та затвердінням (>5,5 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 (самоущільнення настає за 0,75 год, затвердіння за 1,0 год). Жоден з прискорювачів когезійної міцності ЛЕМС не може конкурувати з ЛЕМС на дистиляційному бітумі за показниками швидкості когезійної міцності ЛЕМС. Крім того найменші втрати матеріалу під час вологого абразивного зносу спостерігаємо у ЛЕМС на основі дистиляційних бітумів.

6. 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 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. 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. Але недоліком прискорювачів ЛЕМС є потреба у використанні лише оптимальних матеріалів за критерієм МС, на відміну від ЛЕМС на дистиляційних бітумах.

Перевагою ЛЕМС із ІКС перед іноземними спів-емульгаторами є у 8,5 раз нижчі показник ВМВЗ суміші.

## **РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ ЛЕМС**

### **5.1 Дослідно-виробниче впровадження ЛЕМС на основі ЕКПМ- 60 з ІКС**

Дослідно-виробниче впровадження ЛЕМС на основі ЕКПМ- 60 з ІКС було реалізоване на виробничій базі ТзОВ «Пролог ТД». Було здійснено виробництво дослідної партії бітумної емульсії на дорожньому бітумі модифікованому інденкумароною смолою – БНД 60/90 з ІКС та виготовлено литу емульсійно-мінеральну суміш згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 «Суміші литі емульсійно-мінеральні».

Виготовлення бітумної емульсії провели на бітумно-емульсійній установці періодичної дії SEP-0,3R данської компанії «Денімотех». Максимальна продуктивність установки складає 350 л/год, проміжок між ротором та статором можна варіювати: 0,6; 1,4 та 2,2 мм, а швидкість ротора можливо налагодити від 6000 до 11800 об/хв. Також існує можливість регулювання тиску в системі дозування бітуму та водної фази до 10 бар. Об'єм резервуарів для бітумної та водної фази складає 15 л. Обчислення заданих значень регульованих величин виробництва виконали за допомогою спеціальної програми, що додається до установки.

За допомогою литої емульсійно-мінеральної суміші було проведено ямковий ремонт біля входу до Львівського центру Інститута космічних досліджень у 2015 році. Виготовлення та вкладання суміші проводили вручну. Перед влаштуванням ЛЕМС поверхню вкладання ретельно очищали від пилу та бруду за допомогою щіток. Влаштовані ділянки були огорожені на період самоущільнення суміші (1 година). Результати моніторингу відремонтованих ділянок у 2015-2017 роках відсутніх пошкоджень не виявили.

Акт про впровадження результатів дисертації наведено в Додатку Б.

## **5.2 Розроблення відгуку на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови».**

На кафедрі «Автомобільні дороги та мости» Інституту будівництва та інженерії докільця Національного університету «Львівська політехніка» був надісланий лист від 09.09.2014 №22.2-16/1-1002 (Додаток В) від Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор), Державного підприємства «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна ДП «ДерждорНДІ» з проханням надати відгук на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови». Відгук на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови» наведений в Додатку Г. У відгуку який складається з 6 сторінок вказані чіткі зауваження та уточнення (щодо термінології, класифікації та нормативних вимог), які були враховані під час розроблення остаточної редакції СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132]. У відгуку був запропонований новий розподіл на типи кам'яного матеріалу для литої емульсійно-мінеральної суміші з огляду на нормативи International Slurry Surfacing Association [56,57] та уточнений порядок проведення випробування із визначення адсорбції метилену синього. Ці пропозиції також увійшли до СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132].

## **5.3 Впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи**

В співавторстві Сідуні Ю.В. та Солодким С.Й. видано дві методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Визначення часу розпаду та швидкості набору когезійної міцності литих емульсійно-мінеральних сумішей для тонкошарових покриттів» та «Визначення фізико-технічних показників дорожніх бітумних емульсій» з дисципліни «Сучасні технології в транспортному будівництві та дорожньо-будівельні матеріали».

Методичні вказівки «Визначення часу розпаду та швидкості набору когезійної міцності литих емульсійно-мінеральних сумішей для тонкошарових покриттів» містять дві лабораторні роботи: визначення часу розпаду литих емульсійно-мінеральних сумішей та визначення швидкості набору когезійної міцності литих емульсійно-мінеральних сумішей.

Даний порядок лабораторних робіт є обґрунтованим з огляду на послідовність проектування складу та технологічні особливості ЛЕМС та дозволить студентам поетапно зрозуміти основні принципи даної технології.

Методичні вказівки «Визначення фізико-технічних показників дорожніх бітумних емульсій» вміщують одну лабораторну роботу, яка складається із дослідження таких властивостей бітумних емульсій, як: визначення зовнішнього вигляду емульсій, визначення показника концентрації водневих іонів, визначення однорідності емульсії, визначення вмісту залишкового в'язучого, визначення умовної в'язкості, визначення стійкості при зберіганні, визначення зчеплюваності в'язучого, виділеного з емульсії, з поверхнею щебеню, визначення змішуваності емульсії з мінеральними матеріалами, визначення індексу розпаду.

Лабораторні роботи, що приведені у методичних вказівках, дозволять ознайомитись студентам з сучасними прогресивними матеріалами та технологіями. Викладений матеріал у методичних вказівках послідовний, доступний та зрозумілий, що дасть змогу студентам виконати поставлені завдання якісно та за незначний період часу. Методичні вказівки включають посилання на останні вітчизняні, закордонні та міжнародні нормативні документи, що наведені у списку літератури, це говорить про узагальнений, новітній рівень вказівок, що в свою чергу дозволить підняти технічні знання студентства.

Упорядники підготували методичні вказівки, які дозволять студентам набути практичного досвіду в дослідженнях та випробуваннях бітумно-емульсійних та емульсійно-мінеральних матеріалів та закріпити теоретичні знання з дисциплін «Технологія будівництва автомобільних доріг та аеродромів» (спецкурс), «Забезпечення і контроль якості при будівництві і ремонті автомобільних доріг», «Діагностика технічного стану конструктивних елементів

доріг». Методичні вказівки можуть бути корисними для магістрів під час виконання магістерських кваліфікаційних робіт. Акт про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи наведений в Додатку Д.

#### 5.4 Економічна ефективність розроблених ЛЕМС

Внаслідок проведених досліджень встановлено, що дистиляційні бітуми Nynas 100/150 та Nybit E85 є оптимальними в'язучими для ЛЕМС за критеріями швидкості набору когезійної міцності та витрати маси під час вологого зносу, також визначено, що ефективними прискорювачами швидкості формування тонкошарового покриття з литої суміші на основі окисленого бітуму є Redicote 505, Redicote 540, ІКС. Вартість ЛЕМС різних складів в переважній мірі змінюється в залежності від складу використаної бітумної емульсії. Тому для визначення найбільш економічно ефективного матеріалу з вищенаведених було встановлено збільшення вартості тонни бітумної емульсії з цими матеріалами в порівнянні з базовим складом 4.1 БНД 60/90 «Укртатнафта» (табл.3.4).

В табл. 5.1 наведено збільшення вартості БНД 60/90 «Укртатнафта» за його модифікації ІКС (7 % мас.) та додавання пластифікатора – гудрону (8 % мас.).

Таблиця 5.1

Збільшення вартості БНД 60/90 «Укртатнафта» за його модифікації ІКС

Компоненти	Вміст, % мас.	Кількість, т	Вартість за одиницю, т	Сумарна вартість, грн
БНД 60/90 з ІКС				
БНД60/90 «Укртатнафта»	85	0,85	8500	7225
Гудрон	8	0,08	7000	560
ІКС	7	0,07	14000	980
Разом				8765

Вартість 1 т бітумної емульсії базового складу №4.1 БНД 60/90 «Укртатнафта» (табл.3.4) наведена в табл 5.2, а вартість 1 т бітумної емульсії складу №5 БНД 60/90 з ІКС (табл. 3.6) наведена в табл. 5.3.

Таблиця 5.2

Вартість 1 т бітумної емульсії базового складу №4.1 БНД 60/90 «Укртатнафта»

Компоненти бітумної емульсії	Витрата на 1 т		Вартість компоненту за 1 т	Вартість витрат на 1 т БЕ
	%	т	грн	грн
БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	0,62	8500	5270
Емульгатор Redicote E-11	1,1	0,011	182000	2002
НСІ у водній фазі	0,077	0,00077	7800	6,0
Вода	36,823	0,36823	5,05	1,86
Разом	100	1	190655,05	7279,86≈7270

Вартість бітумів Nynas 100/150 та Nybit E85 є однаковою. Вартість 1 т бітумної емульсії складу №2. Nybit E85 (табл. 3.6) наведена в табл. 5.4

Таблиця 5.3

Вартість 1 т бітумної емульсії складу №5.БНД 60/90 з ІКС

Компоненти бітумної емульсії	Витрата на 1 т		Вартість компоненту за 1 т	Вартість витрат на 1 т БЕ
	%	т	грн	грн
БНД 60/90 з ІКС	62,0	0,62	8765	5434,3
Емульгатор Redicote E-11	1,1	0,011	182000	2002
НСІ у водній фазі	0,077	0,00077	7800	6,0
Вода	36,823	0,36823	5,05	1,86
Разом	100	1	198570,05	7444,16≈7444

Таблиця 5.4

Вартість 1 т бітумної емульсії складу №2. Nybit E85

Компоненти бітумної емульсії	Витрата на 1 т		Вартість компоненту за 1 т	Вартість витрат на 1 т БЕ
	%	т	грн	грн
Nynas 100/150 чи Nybit E85	62,0	0,62	14000	8680
Емульгатор Redicote E-11	1,1	0,011	182000	2002
НСІ у водній фазі	0,077	0,00077	7800	6,0
Вода	36,823	0,36823	5,05	1,86
Разом	100	1	203805,05	10689,86≈10690

Вартість спів-емульгаторів Redicote 505, Redicote 540 є однаковою тому розрахунок вартості 1 т бітумної емульсії з включенням цих прискорювачів за однакового дозування буде ідентичним (табл.5.5).

Таблиця 5.5

Вартість 1 т бітумної емульсії складу 4.2 БНД 60/90 «Укртатнафта» та 4.3 БНД 60/90 «Укртатнафта»

Компоненти бітумної емульсії	Витрата на 1 т		Вартість компоненту за 1 т	Вартість витрат на 1 т БЕ
	%	т	грн	грн
БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	0,62	8500	5270
Емульгатор Redicote E-11	1,1	0,011	182000	2002
Спів-емульгатор Redicote 505 чи Redicote 540	0,25	0,0025	202000	505
НСІ у водній фазі	0,077	0,00077	7800	6,0
Вода	36,573	0,36573	5,05	1,85
Разом	100	1	190655,05	7784,85≈7785

В табл. 5.6 наведено зміна вартості базового складу бітумної емульсії за використання бітумів Nybit E85 та БНД 60/90 з ІКС та спів-емульгаторів Redicote 505 та Redicote 540.

Таблиця 5.6

Зміна вартості 1 т бітумної емульсії за використання ефективних прискорювачів швидкості набору когезійної міцності

№ складу бітумної емульсії	Вартість 1 т , грн
№1 Nynas 100/150 чи №2 Nybit E85	10690
№4.1 БНД 60/90 «Укртатнафта»	7270
№4.2 БНД 60/90 «Укртатнафта» (Redicote 505) чи №4.3 БНД 60/90 «Укртатнафта» (Redicote 540)	7785
№5.БНД 60/90 з ІКС	7444

Проаналізувавши зміну вартості 1 т бітумної емульсії за використання дистильційного бітуму №1 Nynas 100/150 чи №2 Nybit E85 або включенням в бітумну емульсію на окисленому бітумі прискорювачів швидкості набору когезійної міцності встановлюємо, що найефективнішим прискорювачем є ІКС.

Найвищу вартість емульсії спостерігаємо за використання дистиляційних бітуму. Спів-емульгатори Redicote 505 та Redicote 540 помірно підвищують вартість бітумної емульсії.

## 5.5 Висновки до розділу

1. Вироблено дослідну партію бітумної емульсії в кількості 26 кг на дорожньому бітумі модифікованому інден-кумароновою смолою БНД 60/90 з ІКС та виготовлено литу емульсійно-мінеральну суміш (ЛЕМС) згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 «Суміші литі емульсійно-мінеральні» у кількості 234 кг. Литою емульсійно-мінеральною сумішшю було проведено ямковий ремонт біля входу до Львівського центру Інституту космічних досліджень у 2015 році.

2. На прохання Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор), Державного підприємства «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна ДП «ДерждорНДІ» було надано відгук на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови». Зауваження, уточнення та пропозиції, які були наведені у відгуку увійшли до остаточного варіанту СОУ 42.1-37641918-119:2014 [132].

3. В навчальний процес було впроваджено дві методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Визначення часу розпаду та швидкості набору когезійної міцності литих емульсійно-мінеральних сумішей для тонкошарових покриттів» та «Визначення фізико-технічних показників дорожніх бітумних емульсій». Лабораторні роботи, що приведені у методичних вказівках, дають змогу ознайомитись студентам з сучасними прогресивними матеріалами та технологіями.

4. Найбільш економічно ефективним складом бітумної емульсії для ЛЕМС є склад №5 БНД 60/90 з ІКС. Вартість 1 тонни бітумної емульсії цього складає 7444 грн, це більше лише на 174 грн/т в порівнянні з базовим складом і відчутно дешевше ніж вартість емульсії на дистиляційних бітумах Nynas 100/150 та Nybit E85 (10690 грн/т).



## ВИСНОВКИ

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.

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.

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.

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 метилена синього буде вищим в тому матеріалі, в якому вміст пилюватих 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 гран складу 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 схоплення 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 інде-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 проведено ремонт асфальтобетонного покриття біля входу до Львівського центру Інституту космічних досліджень. Результати моніторингу відремонтованих ділянок у 2015-2017 роках відчутних пошкоджень не виявили.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Slurry Surfacing Association [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// www.slurry.org](http://www.slurry.org).
2. Metrayol İnşaat Taah. Tur. San. ve Tic. Ltd. Şti. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// www.metrayol.com.tr](http://www.metrayol.com.tr)
3. Климчук С. М. Вимоги до технології влаштування тонкошарових покриттів з сумішей литих емульсійно-мінеральних та холодних асфальтобетонних // Автошляховик України. 2003. - № 1. - С. 31-33.
4. Петров А.В. Опыт применения литых эмульсионно-минеральных смесей на дорогах РФ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://library.stroit.ru/articles/dorstroy/index.html>
5. Поводырев М. Что такое микросюрфейсинг / Автомобильные дороги. 2006. № 4. С. 52-53.
6. Поводырев Г. Сургутская прописка Сларри-Сил // Автомобильные дороги.- 2001. № 4. - С. 12-14.
7. Алферов В. И. Сларри Сил // Дороги России XXI века. 2002. - №4 - С. 66-67.
8. Алферов В.И. Повышение надежности автомобильных дорог путем устройства слоев износа методом «Сларри Сил». Тезисы докладов международной научно-практической конференции. М.: МАДИ. 2000. - С.180-190.
9. Алферов В.И. Повышение эксплуатационных свойств слоев износа и качества ремонтных работ на основе катионактивных битумных эмульсий: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Воронеж: ВГАСУ. 2001.- 199с.
10. Горелов С. В. Устройство слоев износа дорожных покрытий на основе комплексно-модифицированных катионных битумных эмульсий: Автореферат диссертации по строительству, 05.23.11/ С. В. Горелов / ГОУ ВПО Волгоградский государственной архитектурно-строительной университет. – Волгоград 2006. – 23 с.
11. Попова Г. В. Устройство слоев износа по технологии «Сларри-Сил» сборник материалов VI всероссийской научно-технической конференции УГЛТУ // Г. В. Попова, В. Н. Дмитриев - Екатеринбург изд-во УГЛТУ, 2008 – С. 328-331.

12. Попова Г. В. Обследование слоев износа «Сларри-Сил» на автомобильных дорогах в Свердловской области / Г. В. Попова, В. Н. Дмитриев // Екатеринбург изд-во УГЛТУ. 2008 - С. 326-327.

13. Попова Г. В. Отчет о НИР Исследования свойств литой эмульсионно-минеральной смеси типа «ЭМУЛЬДОР» в филиале ГУЛ СО «Монетный щебеночный завод» – «Сухоложская битумно-эмульсионная база» / Г. В. Попова, В. Н. Дмитриев, Е. В. Черкасова, С. И. Исакова и др. // Сухоложский филиал ГУП СО МЦЗ - Сухоложская БЭБ. 2007 - 12 с.

14. Попова Г. В. Разработка методических рекомендаций по устройству слоев износа с использованием местных материалов / Отчет по НИР по дог. 2-ДС-191/207// Г. В. Попова, С. И. Булдаков, В. Н. Дмитриев, А. А. Чижов // Екатеринбург УГЛТУ. 2007 - 50 с.

15. Benedict R.C. New Trends in Slurry Seal Design Methods, Proceedings of the 23rd Annual Convention of the International Slurry Seal Association. Orlando, Florida. February 1985.

16. Benedict R.C. Laboratory Design of Conventional Monolayer Slurry Seal and Multi-layer, Dense Graded Cold Mixes, Proc. Transportation Research Board. 1988.

17. Benedict R.C. Introduction to a loaded wheel test method for the measurement of compaction, stability and resistance of multi-layered, dense graded fine aggregate emulsion cold mixes,. Proc. ISSA. 1987.

18. Benedict R.C. Classification of Asphalt Emulsion/Aggregate Mixture Systems by Cohesion Tester Measurement of Set and Cure Characteristics. Proceedings of 21st ISSA. Phoenix, Arizona. 1983.

19. Benedict R.C. In search of traffic simulated. ISSA 2rid World Congress. Geneve. 1987.

20. Benedict R.C. Uses of the Modified Cohesion Tester. 12th Annual Convention of the AEMA. New Orleans. 1985.

21. Benedict R.C. Laboratory test and testing trends for slurry seal. A state of the art Report. ISSA 2nd. World Congress. 1987.

22. Benedict R.C. Uses of the modified Cohesion test for emulsion formulation and mix design of performance cold mix systems. 12th Annual Convention of the Asphalt Emulsion Manufacturers Association. New Orleans. 1985.
23. Benedict R.C. Effects of Aggregate Filler Content Variation and Cement Presence on the Laboratory Properties of a Single Slurry Seal System. Pres. 25th Annual International Slurry Surfacing Association Convention and 2nd World Congress on Slurry Seal. March. Geneva. Switzerland. 1987.
24. Benedict R.C. Effects of Aggregate Filler Content Variation and Cement Presence on the Laboratory Properties of a Single Slurry Seal System. ISSA Convention 1987.
25. Benedict R.C. Barbara M. A Study of Wet Track Abrasion Test Variables. International Slurry Surfacing Association. Jan. 1988.
26. Benedict R.C. An Introduction to the Potential Uses of a Loaded Wheel Tester (LWT) for the Traffic Count Design Slurry Seal. ISSA. 1975.
27. Benedict R.C. Properties of Slurry Seal and Cold Mac to Meet Design Objectives. Pres. Caltrans R & D meeting. Sacramento, CA. Sept. 1988.
28. Benedict C.R. Informal Presentation on Slurry Seal Design Problems. 22nd ISSA Convention, Maui, Hawaii. Feb. 1984.
29. Benedict R.C. Experiments with Cured Cohesion Testing of Slurry Seals and Thin Layered Cold Mixes. Proceedings of the 24th Annual Convention of the International Slurry Seal Association. San Francisco, California. January 1986.
30. Swede C.M. MicroSurfacing with natural Latex Modified Asphalt Emulsion: A Field evaluation. Prac. Transportation Research Board. 1988.
31. Ballou W.R. Studies of Polymer Modified Micro-Surfacing. Materials in Highway Maintenance / W.R. Ballou, S.L. Engber, T.M. O'Connell, G.H. Reinke // Proc. ASTM, Dec. 1988.
32. Harper W.J. Effects of Mineral Filler in Slurry Seal Mixtures, Surface Treatments, Bitumens Mixtures and Pavements./ W.J. Harper, R.A. Jimenez, B.M. Gallaway // Hwy Research Record, Hwy Research Board, National Academy of Science-National Research Council, Wa. D.C. Jan 1965. No. 104. pp. 36-59.

33. Karl W.J. Emulsified Asphalt Slurry Seal Coats / W.J. Karl, L.D. Coyne // Prog. AAPT, 1964.
34. Coyne, L.D. Optimizing Performance Of Polymer Modified Microsurface Systems. Proc. ISSA. 1989.
35. Bolzan Pablo E. Slurry Seal Mix Design. Australian Road Research 17 (2). 1987.
36. Ballou W.R. Studies of Polymer Modified Micro-Surfacing. Part 2. Materials in Highway Maintenance / W.R. Ballou, S.L. Engber, T.M. O'Connell, G.H. Reinke // Proc. ASTM, Dec. 1988.
37. Young R. T. Shaker Wear and Acid Insolubility Tests for Slurry Seal Aggregates. International Slurry Surfacing Association. 1977.
38. Rogers E. D. Practical Quick-Set Slurry Seal Coats (Cationic Asphalt Emulsion Type) / J. L. Goodrich, C. G. Schmitz // International Slurry Surfacing Association. Jan 1969.
39. Ordemler O. The Effects of Aggregate Gradation on Slurry Seal Texture Iowa State University. Masters Thesis Published by International Slurry Surfacing Association. Washington, D.C. 1982.
40. Kim Sang S. A study of variables affecting voids and abrasion resistance of Slurry Seals. Iowa State University Masters Thesis Pub. ISSA. 1989.
41. Kailua K. Slurry Seal. Proceedings of the 27th Annual Convention. International Slurry Seal Association. Hawaii, 12-16 Feb. 1989.
42. ISSA TB 101 Guide for Sampling Slurry Mix for Extraction Test, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
43. ISSA Technical Bulletin 106 Measurement of Slurry Seal Consistency, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
44. 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.

45. ISSA Technical Bulletin 109 Test Method for Measurement of Excess Asphalt in Bituminous Mixtures by Use of a Loaded Wheel Tester and Sand Adhesion, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
46. ISSA Technical Bulletin 114 Wet Stripping Test for Cured Slurry Seal Mix, Design Technical Bulletins, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
47. ISSA Technical Bulletin 100 Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
48. ISSA Technical Bulletin 147 Test Methods for Measurement of Stability and Resistance to Compaction, Vertical and Lateral Displacement of Multi-layered Fine Aggregate Cold Mixes, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
49. ISSA Technical Bulletin 144 Test Method for Classification of Aggregate Filler-Bitumen Compatibility by Schulze-Breuer and Ruck Procedures, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
50. ISSA Technical Bulletin 113 Trial Mix Procedure for Slurry Seal Design, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
51. ISSA Technical Bulletin 102 Mixing, Setting and Water Resistance Test to Identify Quick-Set Emulsified Asphalts, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
52. ISSA Technical Bulletin 111 Outline Guide Design Procedure for Slurry Seal, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
53. ISSA TB 112 Method of Estimate Slurry Seal Spread Rates and To Measure Pavement Macrotextu, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
54. ISSA TB 115 Determination of Slurry Seal Compatibility, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
55. ISSA TB 136 Causes of Inconsistency of Wet Track Abrasion Test (WTAT) Results, International Slurry Surfacing Association, Washington, DC, 1990.
56. ISSA A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD,(Revised) May 2003.



57. ISSA A143 Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing, Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) May 2003.

58. European Standard EN 12274-1 Slurry Surfacing–Test Methods–Part 1: Sampling for Binder Extraction, European Committee for Standardization, Brussels, 2002.

59. European Standard EN 12274-2 Slurry Surfacing–Test Methods–Part 2: Determination of Residual Binder Content, European Committee for Standardization, Brussels, 2001.

60. European Standard EN 12274-3 Slurry Surfacing–Test Methods–Part 3: Consistency, European Committee for Standardization, Brussels, 2002.

61. European Standard EN 12274-4 Slurry Surfacing–Test Methods–Part 4: Determination of Cohesion of the Mix, European Committee for Standardization, Brussels, 2003.

62. European Standard EN 12274-5 Slurry Surfacing–Test Methods–Part 5: Determination of Wearing, European Committee for Standardization, Brussels, 2002.

63. European Standard EN 12274-6, Slurry Surfacing–Test Methods–Part 6: Rate of Application, European Committee for Standardization, Brussels, 2003.

64. Provisional European Standard prEN 12274-7 Slurry Surfacing–Test Methods–Part 7: Shaking Abrasion Test, European Committee for Standardization, Brussels, 2003.

65. Provisional European Standard prEN 12274-8 Slurry Surfacing–Test Methods–Part 8: Visual Assessment of Defects, European Committee for Standardization, Brussels, 2003.

66. Плотникова И.А. Устройство слоев с шероховатой поверхностью с использованием битумных эмульсий / И.А Плотникова, Э.М. Рвачева // Труды СоюздорНИИ, сборник «Ровность дорожных покрытий и их сопротивление скольжению автомобильных шин»// М.: СоюздорНИИ – 1974. – №72 – С. 81-88.

67. Петухов Н.И. К вопросу об эмульсионных шламах Сборник научных трудов «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов» // Мн.: БелдорНИИ – 1973. – С.78-84.

68. Рвачева Е.М. Регулирование скорости формирования в литых эмульсионно-минеральных смесях. - Труды Союздорнии, 1979. – Вып. 113. С. 99-106.
69. Slurry Seal / Micro-Surface Mix Design Procedure. Phase I Report /CALTRANS / March 2004.
70. Slurry Seal / Micro-Surface Mix Design Procedure. Phase II Report /CALTRANS / December 2010.
71. Engman M. Specifying slurry surfacing emulsion quality: Particle size distribution / Mikael Engman, Alan James, David Needham and Tony Ng // ISSA 36th Annual meeting 1998, San Diego, USA.
72. Холлеран Г.Современные технологии содержания дорожных покрытий. / Г. Холлеран И. Мотина //Дорожная техника. Вып. 2. 2005. С. 18-28.
73. AkzoNobel Surface Chemistry. События в сфере асфальтобетона. Информационный бюллетень отдела дорожных добавок. Использование цемента в покрытии Сларри. Европа. Выпуск 80, осень 2009.С.9
74. James A. The direct measurement of the adsorption of cationic surfactants onto the surface of slurry seal aggregates / Alan James, David Stewart and Julia Wates // ISSA 28th Convention, 1990, Tampa, Florida.
75. Dunn B. What you need to know about slurry seal. Better Roads, March 1996, P. 21–25
80. AkzoNobel Surface Chemistry. Вопросы асфальтобетона. Информационный бюллетень отдела «Добавки для дорожного строительства». Система Редипейв для покрытия Сларри сил быстрого распада на любом битуме Европа, Ближний Восток, Индия и Африка. Выпуск 84 – 2013. С.6.
81. AkzoNobel Surface Chemistry. Technical Information. The Redipave Slurry Surfacing & Micro-asphalt System for low acid binders. February 2011 (2). 4 p.
82. AkzoNobel Surface Chemistry. Информационный бюллетень отдела «Добавки для дорожного строительства» Европа Ближний Восток, Индия и Африка. Вопросы асфальтобетона. Кислоты в катионных эмульсиях. Выпуск 83 – 2012. С.13.

83. 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. (Особистий внесок автора Сідун Юрія Володимировича: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

84. 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. (Особистий внесок автора Сідун Юрія Володимировича: проведення експериментальної роботи оброблення, аналіз та оформлення результатів роботи).

85. Вавілов П.В. Смеси эмульсионно-минеральные. Методы подбора состава и испытаний, технические требования и свойства. Обзорная информация. / П.В. Вавілов, С.Е. Кравченко, Н.В. Радьков// Департамент «Белавтодор» Государственное предприятие «БелдорНИИ». Отдел научно-технической информации. Минск. 2012- С.51-62.

86. Вавілов П.В. Производство и применение битумных эмульсий. Обзорная информация. / П.В. Вавілов, С.Е. Кравченко, Н.В. Радьков // Департамент «Белавтодор» Государственное предприятие «БелдорНИИ». Отдел научно-технической информации. Минск. 2011- С.43-59.

87. Вавілов, П. В. К вопросу о формировании структуры дорожных бетонов на основе эмульсионно-минеральных смесей – On structure formation of cold emulsion mix based pavement concretes / П. В. Вавілов, С. Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – Мн.: БелдорНИИ, 2010. – №1. – С.45-50.

88. Крутько Н. П. Повышение качества дорожных покрытий / Н. П. Крутько, О. Н. Опанасенко, А. В. Минин // Химия в интересах устойчивого развития. - 2005. - № 6. - С. 767-778.

89. Островерхий О.Г. Проектування тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів дорожніх одягів : Автореф. дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.22.11 / О.Г. Островерхий / Нац. транспорт. ун-т. — К., 2002. — 16 с.

90. Жданюк В. К. Властивості катіонних бітумних емульсій, модифікованих водним катіонним латексом "Butonal NS 198" / В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька // Віст. ХНАДУ. - 2008. - Вип. 40. - С. 17-20.

91. Жданюк В.К. Особенности модифицирования битумных эмульсий полимерами / В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька // Материалы VII Международной научно – технической интернет-конференции «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве». – Харьков: ХНАМГ, 2006. – С. 53 – 54.

92. Жданюк В.К. Дослідження властивостей емульгаторів для дорожніх бітумних емульсій. / В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька // Вісник. ХНАДУ. - 2006. - Вип. 34-35.

93. Пыриг Я. И., Золотарев В. А. Методы оценки качества дорожних битумов: возникновение, развитие и современные возможности использования: Учебное пособие. – Харьков: Изд-во «Форт», 2013. – 64 с.

94. Золотарьов В.О. Порівняльне дослідження властивостей окислених і залишкових бітумів. / В.О Золотарьов, Я.І. Пиріг, А.В. Галкін, С.В. Кудрявцева Вальдес // Автошляховик України. № 4. - 2010. - С. 32 - 37.

95. Золотарев В.А. Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (С8). Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы битумы с добавками в дорожном строительстве / Пер. с франц. д.т.н. В.А. Золотарева, инж. Л.А. Беспалов; Под общей ред. д.т.н. В.А. Золотарева, д.т.н. Братчуна. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003.– 229 с.

96. Гамеляк І.П. Довговічність холодного литого асфальтобетону на бітумній емульсії / І.П. Гамеляк, О.Г. Островерхий // Автомоб. дороги і дор. буд-во.- 2001.- Вип. 60.- С. 40-46.

97. Гамеляк І.П. Чисельний аналіз напружено-деформованого стану тонкошарових покриттів дорожнього одягу / І.П. Гамеляк, О.Г. Островерхий // Автомоб. дороги і дор. буд-во.- 2001.- Вип. 61.- С. 118-126.

98. Мозговий В. В. Підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг і аеродромів за рахунок застосування нових полімерних матеріалів / В. В. Мозговий, А. М. Онищенко, В. Ф. Невінгловський // Дороги і мости. – 2010 – Вип. 12 – С. 140-144.

99. Мозговий В.В. Методика приготування та результати випробування бітуму модифікованого полімерами за допомогою лабораторного лопатевого змішувача / В.В. Мозговий, А.М. Онищенко, С.Ю. Аксьонов, М.В. Гаркуша, В.Ф. Невінгловський, О.С. Різніченко // Вісник НТУ. – К.: НТУ. – 2012. –Вип. 26.

100. Островерхий О.Г. Економічна ефективність будівництва шорстких тонкошарових покриттів із емульсійно-мінеральної суміші литої консистенції / О.Г. Островерхий, А.А. Борисенко // Автомоб. дороги і дор. буд-во.- 1999.- Вип. 57.- С. 175-182.

101. Островерхий О. Г. Вирівнююча здатність тонкошарового емульсійно-мінерального покриття // Автомоб. дороги і дор. буд-во.- 2001.- Вип. 63.- С. 52-54.

102. Савенко В.Я. Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення / В.Я. Савенко, О.Г. Островерхий, В.І.Каськів // Автошляховик України. - 2007. - № 1. - С. 40-42

103. Вирожемський В. К. Моніторинг ділянок тонкошарових покриттів з емульсійно-мінеральних сумішей одягу/ В. К. Вирожемський, М.Л. Міщенко, О.В. Кушнір, В.М. Катуківа // Автошляховик України. - 2009. - № 1. - С. 41-43

104. Вирожемський В. К. Інноваційні технології при реконструкції автомобільної дороги Київ-Одеса./ В. К. Вирожемський, В.М. Катуківа // Дорожня галузь України. - 2009.- № 5. – с.72.

105. Коваль П.М. Міжнародній науково-технічна конференція «Бітумоемульсійні матеріали і технології дорожніх робіт // Автошляховик України. - 2003. - № 3. - С. 32.

106. Нагайчук В.М. Досвіду влаштування тонкошарових покриттів з емульсійно-мінеральних сумішей// Автошляховик України. - 2005. - № 4.- С. 47-48.

107. Линник, И.Э. Современные конструкции дорожных покрытий «Сларри Сил» / И.Э. Линник, Н.А. Борисова // Научно-технический сборник

"Коммунальное хозяйство городов". Серия: Архитектура и технические науки. - 2009. Выпуск 90. С. 217-221.

108. Кіщинський С.В. Досвід та проблеми влаштування на дорогах України тонкошарових покриттів типу «Сларрі Сіл». / С.В. Кіщинський, Ю.Ф. Гончаренко, Е.М. Гнатюк Е.М. // Дороги і мости: Збірник наукових праць.– К.: ДерждорНДІ, 2008. – Випуск 10.

109. Д.Л. Журавський Про взаємозв'язок теорії і практики застосування бітумів. Дорожня галузь України. - 2010.- № 2. – С.58.

110. AkzoNobel Surface Chemistry. Информационный бюллетень по применению асфальтобетона. Новые продукты: Redicote 505– Європа и Азия. Выпуск 82 – 2011. С.16.

111. Вирожемський В.К. Моніторинг якості бітумів, що використовуються в дорожній галузі України / В.К. Вирожемський, Л.Ф. Кириченко, С.В. Кіщинський, Н.А. Бондар // Дороги і мости: Збірник наукових статей. – 2003. – Випуск 1.

112. Кіщинський С.В. Моніторинг якості бітумів, які використовуються в Україні для дорожнього будівництва / С.В. Кіщинський, Л.Ф. Кириченко, Н.А. Бондар, Н.М. Любченко // Автошляховик України. - 2007. - № 6. - С. 24-26.

113. Яценко И. Г., Ресурсы тяжелых нефтей мира и сравнительный анализ их физико-химических свойств //Научно-Технический журнал. Экспозиция Нефть Газ – сентябрь 2012. № 5 . – С. 47-53.

114. Ан В.В.База данных по химии нефти и перспективы ее применения в геохимических исследованиях / В.В. Ан, Е.С. Козин, Ю.М. Полищук, И.Г. Яценко // Геология нефти и газа. – 2000. –№ 2. – С. 49–51.

115. Полищук Ю.М. Тяжелые нефти: аналитический обзор закономерностей пространственных и временных изменений их свойств / Ю.М. Полищук, И.Г. Яценко // Нефтегазовое дело. – 2005. – № 3. –С. 21–30.

116. Полищук Ю.М., Тяжелые нефти: закономерности пространственного размещения / Ю.М. Полищук, И.Г. Яценко // Нефтяное хозяйство. – 2007. – №2.– С. 110–113.

117. Ященко И. Г. География высокосмолистых нефтей и особенности их физико-химических / Ю.М. Полищук, И.Г. Ященко // Известия Томского политехнического университета. –2011. Выпуск № 1 / том 318 /. – С. 99-102.

118. Мохаммад Шакир Ал-Амері Одержання бітумів окисненням залишку перегонки нафти орховицького родовища / Мохаммад Шакир Ал-Амері, О.Б. Гринишин // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» №700 – Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2011.– С.452-454.

119. Гринишин О.Б. Окиснені бітуми та бітум-полімерні суміші на основі залишку Орховицької нафти / Гринишин О.Б., Мохаммад Шакир Ал-Амері, Братичак М.М. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка.– 2011.– Вип.42.– С.154-158.

120. Хлібишин Ю.Я. Дослідження дистильованої частини високосіркової нафти орховицького нафтового родовища / Хлібишин Ю.Я., Мохаммад Шакир Абд Ал-Амері, Гринишин О.Б., Почапська І.Я. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» – №761 – Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2013.– С.462–465.

121. Пролог ТД [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://prologue.com.ua/>.

122. AkzoNobel Surface Chemistry [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.akzonobel.com/surface/](http://www.akzonobel.com/surface/)

123. СЕСА - Arkema Group [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cecachemicals.com/>

124. Valley Slurry Seal Co [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.slurry.com/>

125. Пушкарьов Ю.Н. Изучение свойств битумно-эластомерных композиций и покрытий на их основе / Ю.Н. Пушкарьов, Б.В. Куншенко // Труды Одеського политехнического университета. – 2005. – № 1 (23). – С. 152.

126. Пиш'єв С.В. Вплив природи полімеру на властивості модифікованих бітумів / С. В. Пиш'єв, Ю. Б. Гриценко, Ю.Я. Хлібишин, Г.М. Страп,

Т.М. Коваль // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 2 (64). – С.4-8.

127. Пиш'єв С.В., Одержання інден-кумаронових смол для модифікації нафтових дорожніх бітумів / С. В. Пиш'єв, Ю. Б. Гриценко, І.Є. Никулишин, З.Я. Гнатів // УглеХимический журнал. – 2014. – № 5. – С. 41-48.

128. Пиш'єв С.В. Використання інден-кумаронової смоли для модифікування нафтових бітумів / С.В. Пиш'єв, Ю.Б. Гриценко, Т.М. Коваль // Поступ в нафтогазопереробній і нафтохімічній промисловості: VII міжнародна науково-технічна конференція, 19-24 травня 2014 р., Львів: збірник тез доповідей – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2014. – С. 96.

129. Пиш'єв С.В. Покращення адгезійних властивостей нафтових бітумів / С.В. Пиш'єв, Ю.Б. Гриценко, Т.М. Коваль // Проблеми хімотології: V міжнародної науково-технічної конференції, 6-10 жовтня 2014 р., Київ: матеріали конференції – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2014. – С. 171-172.

130. Serhiy Pyshyev Production of indene-coumarone resins as bitumen modifiers / Serhiy Pyshyev, Yuriy Grytsenko, Bilushchak Halyna, Pyshyeva Roksolana, Nazar Danyliv // Petroleum and Coal. – 2015. – Vol 57, Issue 4. – pp. 303-314.

131. Соколов В.З. Инден-кумароновые смолы / В.З.Соколов. – М.: Металлургия, 1978. – 216 с.

132. СОУ 42.1-37641918-119:2014. Суміші литі емульсійно-мінеральні Технічні умови. - Київ:Укравтодор.2014.

133. ДСТУ Б В.2.7-129:2013. «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови.» - Київ : Мінрегіон України., 2014.

134. ДСТУ 4044-2001. «Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови.» - Київ: Держстандарт.2012.

135. СОУ 45.2-00018112-069:2011 «Бітуми нафтові дорожні в'язкі дистиляційні. Технічні умови.» - Київ: Укравтодор.2011.



136. СОУ 45.2-00018112-067:2011 «Будівельні матеріали. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними» Технічні умови - Київ: Укравтодор.2011

137. СОУ 45.2-00018112-068:2011 «Будівельні матеріали. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками на основі синтетичних восків. Технічні умови.» - Київ: Укравтодор.2011.

138. ДСТУ Б В.2.7-135:2014 «Будівельні матеріали. Бітуми дорожні модифіковані полімерами. Технічні умови.» - Київ: Мінрегіонбуд. 2014

139. 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. (Особистий внесок автора Сідун Юрія Володимировича у проведенні експериментальних досліджень з виготовлення та випробування бітумних емульсій та литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей).

140. 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. (Особистий внесок автора Сідун Юрія Володимировича у проведенні експериментальних досліджень з виготовлення та випробування бітумних емульсій та литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей).

141. Технічна інформація від компанії Alcol Chemicals. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.alcolchemicals.com>.

142. ГОСТ 11501-78 Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы.

143. ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару.

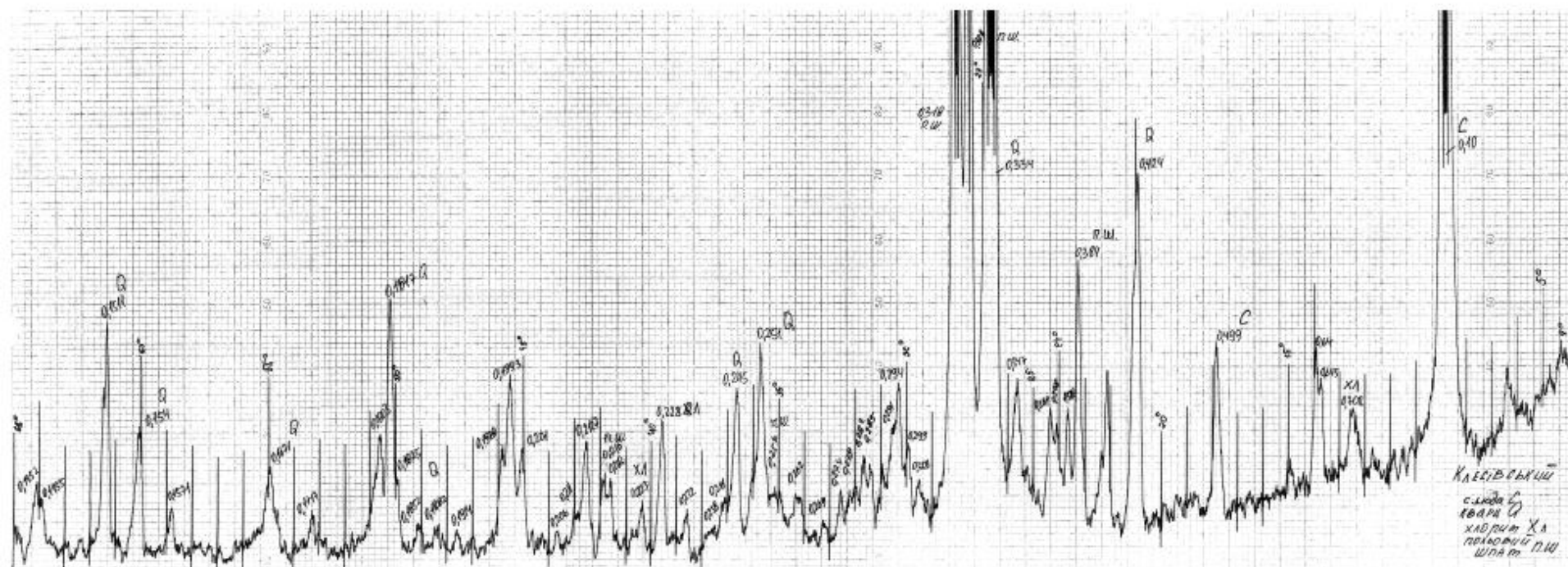
144. ГОСТ 11505-75 Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости.

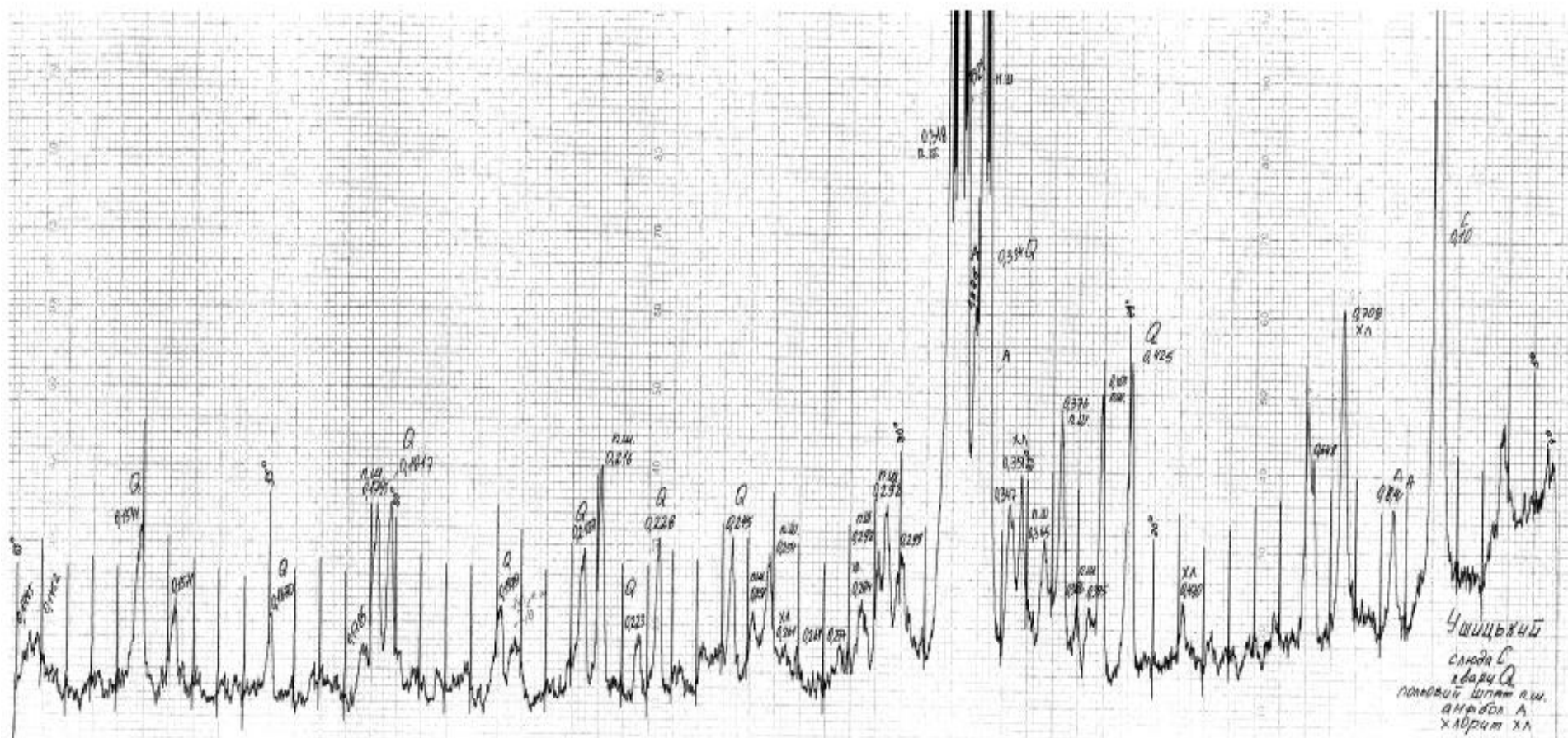
145. ГОСТ 11507-78 Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу.
146. ГОСТ 17789-72 Битумы нефтяные. Метод определения содержания парафина.
147. ДСТУ Б В.2.7-81-98. Бітуми нафтові дорожні вязкі. Метод визначення показника зчеплення з поверхнею скла і кам'яних матеріалів. Технічні умови. - Київ: Мінрегіонбуд. 1999.
148. Marcusson J. Z. Angew. Chem. 1916,v .29, n 1, p.21.
149. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. – М. Транспорт,1973. – 254 с.
150. Руденская И.М. Состав и строение битумов.Труды ГипродорНИИ, 1979, Вып. 27, с.66-78.
151. Битумные материалы (асфальты, смолы, пеки)/ Под ред. А.Дж. Хойберга. – М.Химия, 1974. – 248 с.
152. Гуреев А. А., Гохман Л. М., Гилязетдинов Л.П. Технология органических в'язучих веществ. – М.: МИНХиГП, 1968. – 128 с.
153. EN 12591:1999 Bitumen and bituminous binders - Specifications for paving grade bitumens.
154. Кутя В. М. Аналіз методів і засобів контролю дисперсності емульсій Вісник Інженерної академії України. - 2013. - Вип. 3-4. - С. 242-247.
155. ГОСТ 28862-90 (ИСО 124-85) Латексы каучуковые. Определение общего содержания сухого вещества.
156. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г., Методы физико-химического анализа вяжучих веществ. – М., 1998 – 250с.
157. С.М. Стадніченко Методика використання седиментографа MASTERSIZER 2000 для гранулометричного аналізу та питання інтерпретації отриманих результатів / С.М. Стадніченко, В.О. Подоба // Збірник науковий праць Інституту геологічних наук Національної академії наук України — 2008. — Вип. 1. — С. 269-277.

158. Ахманов С.А. Физическая оптика./ С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин // — Москва.: Изд-во МГУ, 1998.
159. Ипполитов Е.В. Технологія производства битумов / Е.В. Ипполитов, И.Б. Гридников // Химия и технология топлив и масел, №4, 2000.— с. 26-33.
160. ТОВ «АстанаДорСнаб» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://astanabeton.kz/files/documents/Tekhnologiya-proizvodstva-emulsiy-ot AkzoNobel.pdf](http://astanabeton.kz/files/documents/Tekhnologiya-proizvodstva-emulsiy-ot-AkzoNobel.pdf)
161. ВБН В.2.3-218-175-2002 «Влаштування тонкошарових покриттів з литих емульсійно-мінеральних та холодних асфальтобетонних сумішей» – Київ:Укравтодор. 2002.

## Додаток А

### Рентгенофазовий аналіз Клесівського та Ушицького відсівів





## Додаток Б

### Акт про впровадження результатів дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук



Затверджую  
Директор ТзОВ «Пролог ТД»  
Гураль Р.С.

#### АКТ

#### Про впровадження результатів дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Сідуна Юрія Володимировича

Ми, що нижче підписались, представник ТзОВ «Пролог ТД» начальник технічного відділу Бабак А.Б., завідуючий лабораторією Волліс О.Є. склали даний акт про те, що у період з 05.10.2015 р. по 08.10.2015 р. здійснено виробництво дослідної партії бітумної емульсії в кількості 26 кг на дорожньому бітумі модифікованому інден-кумароновою смолою БНД 60/90 з ІКС та виготовлено литу емульсійно-мінеральну суміш (ЛЕМС) згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 «Суміші литі емульсійно-мінеральні» у кількості 234 кг.

Склад бітумної емульсії наведено в табл. 1

Таблиця 1

Склад виготовленої бітумної емульсії

Вид бітуму	Компоненти емульсій, мас.%			
	Бітум	Емульгатор Redicote E-11	НСІ у водній фазі до рН	Питна вода
БНД 60/90 з ІКС	62,0	1,1	2,5	до 100

Таблиця 2

## Фізико-технічні показники модифікованої емульсії

Назва показника	Вимоги до марки ЕКПМ-60	Емульсія на основі БНД 60/90 з ІКС (ЕКПМ-60 з ІКС)	
1. Зовнішній вигляд	Однорідна темно-коричнева рідина	Відповідає	
2. Показник концентрації водневих іонів, рН	1,5-6,5	2,6	
3. Однорідність (залишок на ситі № 014), %, не більше	0,30	0,09	
4. Вміст залишкового в'язучого, %	58-62	61,91	
5. Умовна в'язкість, за температури 20 °С на апараті з діаметром отвору витоку 4 мм, с	5-25	9,0	
6. Стійкість при зберіганні: залишок на ситі № 014, %, не більше:			
- після 7 діб	0,4	0,13	
- після 30 діб:	0,5	0,23	
7. Зчеплюваність залишкового в'язучого з поверхнею щебеню, балів, не менше	5,0	5,0	
8. Змішуваність із сумішами зернових складів	пористого	Так	Так
	щільного	Так	Так
9. Індекс розпаду, %	170-230	180,20	

Модифікована емульсія за фізико-технічними показниками відповідає марці ЕКПМ-60 за ДСТУ Б В.2.7-129:2013. «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови». (табл. 2) та може бути використаною для приготування ЛЕМС.

Для приготування ЛЕМС використали: бітумну емульсію (ЕКПМ-60 з ІКС), кам'яний матеріал ВАТ «Томашгородського щебеневого заводу» (гранскладу 0-10 мм, що відповідає ІІ типу ЛЕМС), портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-400 ПАТ «Миколаївцемент», регулятор розпаду суміші – 10 %-й водний розчин емульгатора Redicote E-11, питну воду.

Оптимальний склад ЛЕМС за критерієм розпаду наведено в табл.3

Таблиця 3

Оптимальні склад ЛЕМС за критерієм розпаду

Вміст складників, г					Час розпаду суміші, с
Кам'яний матеріал	Портландцемент	Вода	Регулятор розпаду	ЕКПМ-60 з ІКС	
100	1,0	10	2,0	14	>120

Фізико-механічні властивості виготовленої ЛЕМС наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Фізико-механічні властивості ЛЕМС

Назва показника	Значення для виду суміші Б згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014	Фактичне значення
1. Границя міцності на зсув, МПа, через: – 30 хв, – 60 хв,	не менше 0,25 не менше 0,42	0,252 0,441
2. Втрата матеріалу при вологому абразивному зносі, г/м <sup>2</sup> через: – 1 годину замочування – 6 днів замочування	не більше 530 не більше 800	59 118

Виготовленою ЛЕМС вручну було проведено ямковий ремонт біля входу до Львівського центру Інституту космічних досліджень (ЛЦ ІКД, м. Львів, вул. Наукова 5а). Під час моніторингу відремонтованих ділянок протягом 2015-2016 р. відчутних пошкоджень не виявлено.

Представники «Пролог ТД»:

Начальник технічного відділу

Завідуючий лабораторією

Погоджено:

Директор ЛЦ ІКД

Бабак А.Б.

Волліс О.Є.

Лукенюк А.А.





## Додаток В

Лист-прохання від 09.09.2014 №22.2-16/1-1002 від Укравтодору, та

ДП «ДерждорНДІ»



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ  
(УКРАВТОДОР)

Державне підприємство

«Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»  
ДП «ДерждорНДІ»

03113, м. Київ,  
проспект Перемоги, 57  
код ЄДРПОУ 03450778

тел/факс 456-34-15  
e-mail: [dornauka@post.com.ua](mailto:dornauka@post.com.ua)  
[www.dorndi.org.ua](http://www.dorndi.org.ua)

09.09.2014 № 22.2-16/1-1002

на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Завідуючому кафедри автомобільних  
шляхів інституту  
«Львівська політехніка»,  
д.т.н., професору  
Солодкому С.І.

Шановний Сергію Йосиповичу!

На замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор), згідно з договором № 58-13 від 19 липня 2013 року, у ДП «ДерждорНДІ» розроблено проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови». Просимо надати відгук на другу редакцію СОУ, розроблених ДП «ДерждорНДІ».

Додаток: Проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови».

007039

З повагою, перший заступник  
директора з наукової роботи

В.К. Вирожемський

Кушнір О.В.  
201 08 71

## **Додаток Г**

**Відгук на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X  
«Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови»**

## **Відгук**

**на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X  
«Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови».**

### Зауваження:

**1. П.1.1** вказується, що ЛЕМС та ХЛАС далі будуть згадуватись під загальною назвою ЛЕМС, що на нашу думку є некоректним. Рекомендуємо прийняти загальну назву литі холодні емульсійно-мінеральні суміші (ЛХЕМС), аналогічно до світової практики, де піднімають питання об'єднання Slurry Seal (ЛЕМС) та Microsurfacing (ХЛАС) в одну систему Slurry Surfacing System – S3. В європейських стандартах (EN) називають дані суміші Slurry Surfacing.

**2. П.3.1.4. та п.3.1.5** Розпад суміші не потрібно розмежовувати на початок та кінець розпаду.

Розпад ЛЕМС – це час від змішування всіх компонентів суміші до моменту, коли вона втрачає рухливість і можливість подальшого перемішування.

**П 7.7** Назва пункту на нашу думку повинна бути «**Визначення часу розпаду**», на відміну від представленої в редакції СОУ «Визначення часу кінця розпаду».

Розпад фіксуємо коли суміш втрачає рухливість тобто перепадає з текучого стану в пластичний, коли втрачається здатність до перемішування.

**3. П.4.2 класифікація.** Вважаємо, що при розподіленні на класи залежно від розвитку процесу формування, варто замінити термін «розпад» на «схоплювання», адже розпад суміші – це процес, що визначає час, протягом якого суміш повинна бути виготовлена і укладена в тонкошарове покриття, а схоплювання характеризується міцністю на зсув  $\tau = 0,26$  МПа за відповідного крутного моменту  $M_0 = 12-13$  кг\*см. Згідно з нормативами процес схоплювання повинен відбутись не пізніше 30 хв після укладання суміші. Також потрібно визначитись якими літерами (латинськими чи арабськими) позначати клас та тип. Як видно, є невідповідність у прикладі запису **п.4.2** (тип суміші вказується латиницею) і **п.4.2.2 табл.1** (тип суміші вказується арабськими літерами).

**4. П.4.2.3 табл.2** варто замінити термін розпад на схоплювання. Пропонуємо замінити час в хвилинах до досягнення границі міцності на зсув з 0,3 МПа на 0,26 МПа та з 0,45 МПа на 0,43 МПа. Адже показники міцності на зсув 0,26 МПа та 0,43 МПа характеризують два ключові етапи формування ЛХЕМС: схоплювання та самоущільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год). І тому саме за цими показниками потрібно розподіляти суміші на класи, як і у світовій практиці (технічні бюлетені ISSA).

**5. П.4.3.1 табл.3.** Вважаємо, що границя міцності на зсув через 30 хв після укладання суміші для сумішей видів А та Б повинна становити не менше

0,25 МПа, а не 0,26 МПа та через 60 хв, не менше 0,42 Мпа, а не 0,44 МПа відповідно до нормативів ISSA (ТВ А105 та ТВ А143).

**6. П. 4.4.1.3** Для приготування катіонних бітумних емульсій також можливе застосування бітумів згідно з ДСТУ Б В.2.7-135:2007 БІТУМИ ДОРОЖНІ, МОДИФІКОВАНІ ПОЛІМЕРАМИ, СОУ 45.2-00018112-068:2011 БІТУМИ ДОРОЖНІ В'ЯЗКІ, МОДИФІКОВАНІ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВІ СИНТЕТИЧНИХ ВОСКІВ, СОУ 45.2-00018112-069:2011 БІТУМИ НАФТОВІ ДОРОЖНІ В'ЯЗКІ ДИСТИЛЯЦІЙНІ.

**7. П.4.3.2** зерновий склад кам'яного матеріалу, а не мінеральної частини повинен відповідати вимогам, що наведені в табл.4

**п.4.4.4.2** при підборі складу суміші мінеральний наповнювач не потрібно розглядати, як частину кам'яного матеріалу.

**8. Між П.4.4.5.2 та додатком Б** існує протиріччя, адже в **п.4.4.5.2** сказано, що кількість води, яка додається в суміш повинна складати від 6 % до 11% маси сухого кам'яного матеріалу, а в **додатку Б** зазначено, що на 100 частин кам'яного матеріалу потрібно 6-8 частин води. Рекомендуємо 6-11 частин води на 100 частин кам'яного матеріалу.

**9. П.7.2.1** Пластина площею 10 см<sup>2</sup> є замалою, адже діаметр кільця-форми 6см, пластина повинна бути квадратною із розмірами 10\*10 см.

**п.7.2.2 зауваження до порядку підготовки та проведення випробувань (випробовування визначення границі міцності на зсув).**

**Зауваження:**

– не вказано час перемішування суміші для заповнення кілець. Він повинен становити 45 секунд.

– зразок встановлюється без кільця-форми на площадку приладу для випробування.

**10. П 7.2.4 Обробка результатів випробування.** Відсутній характер руйнування зразка згідно з ТВ 139 ISSA.

**11. П.7.8.3 Порядок проведення випробування із визначення адсорбції метилену синього.**

**Уточнення:**

– перемішування суспензії при 700 об/хв. за допомогою змішувача, має відбуватись протягом 5 хв, а не 1 хв, як вказано в СОУ;

– випробування вважається позитивним, якщо зовнішнє коло має світло-синє забарвлення (наведено в СОУ), але потрібно вказати, що випробування вважається позитивним, якщо зовнішнє коло має світло-синє забарвлення та на ньому чітко виділяються сонцеподібні промені, що характеризують надлишок доданого розчину метилену синього.

– рекомендуємо переформатувати порядок проведення випробування, а саме: при негативному результаті випробування додаємо наступну порцію (1 мл) розчину метилену синього, і через 1 хв проводимо випробування, якщо результат негативний тоді, цей процес аналогічно повторюємо до отримання позитивного результату. При отриманні позитивного результату потрібно провести перевірку, що заключається у відборі щохвилини протягом 5 хв. крапель суспензії без додавання розчину метилену синього. В отриманих плямах повинно зберегтись зовнішнє коло, із світло-синім забарвленням та чітко виділеними сонцеподібними променями. Якщо перевірка показала негативний результат тоді потрібно додати ще 1 мл розчину та продовжити випробування до отримання позитивного результату та перевірки.

**12. Додаток Б.** Рекомендуємо на 100 частин кам'яного матеріалу від 1-2 частин мінерального наповнювача – цементу (1 частина наведено в СОУ ), 10-16 частин емульсії (10-13 наведено в СОУ), від 6-11 частин води (6-8 наведено в СОУ), адже мала кількість емульсії та води може призвести до недостатньої рухливості суміші.

### **13. Рекомендації щодо гранулометричного складу.**

Визначення гранулометричного складу потрібно проводити на ситах із квадратними отворами.

Типи сумішей та їхній гранулометричний склад згідно з нормами ISSA (ТВ А105) наведені в табл.1

Таблиця 1

Розмір сита, мм	Повний прохід через сито, % за масою, для сумішей типу		
	Тип I	Тип II	Тип III
9,5	100	100	100
4,75	100	90-100	70-90
2,36	90-100	65-90	45-70
1,18	65-90	45-70	28-50
0,6	40-65	30-50	19-34
0,33	25-42	18-30	12-25
0,15	15-30	10-21	7-18
0,075	10-20	5-15	5-15

Рекомендуємо наступний розподіл на типи кам'яного матеріалу з огляду на нормативи ISSA (табл.2)

Таблиця 2

Розмір сита, мм	Повний прохід через сито, % за масою, для сумішей типу		
	Тип I, 0-5 мм	Тип II, 0-10 мм	Тип III, 0-15 мм
15	100	100	100
10	100	100-100	80-94
5	100	91-100	71-90
2,5	90-100	65-90	45-70
1,25	67-91	46-71	29-51
0,63	41-66	31-51	20-35
0,315	24-41	17-29	12-24
0,14	14-28	9-20	7-18
0,071	10-20	5-15	5-15

На рис. 1, 2, 3 наведено порівняння граничних кривих типів за ISSA і запропонованих типів.

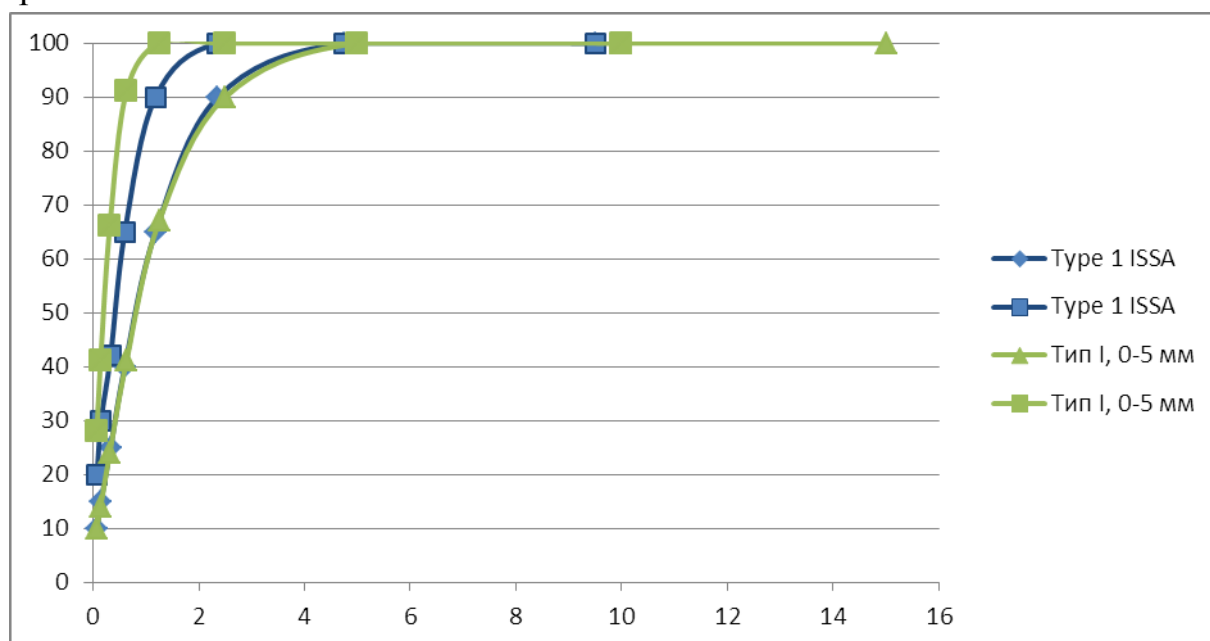


Рис. 1 Порівняння типу 1 за ISSA та запропонованого типу I, 0-5 мм



Рис. 2 Порівняння типу 2 за ISSA та запропонованого типу II, 0-10 мм

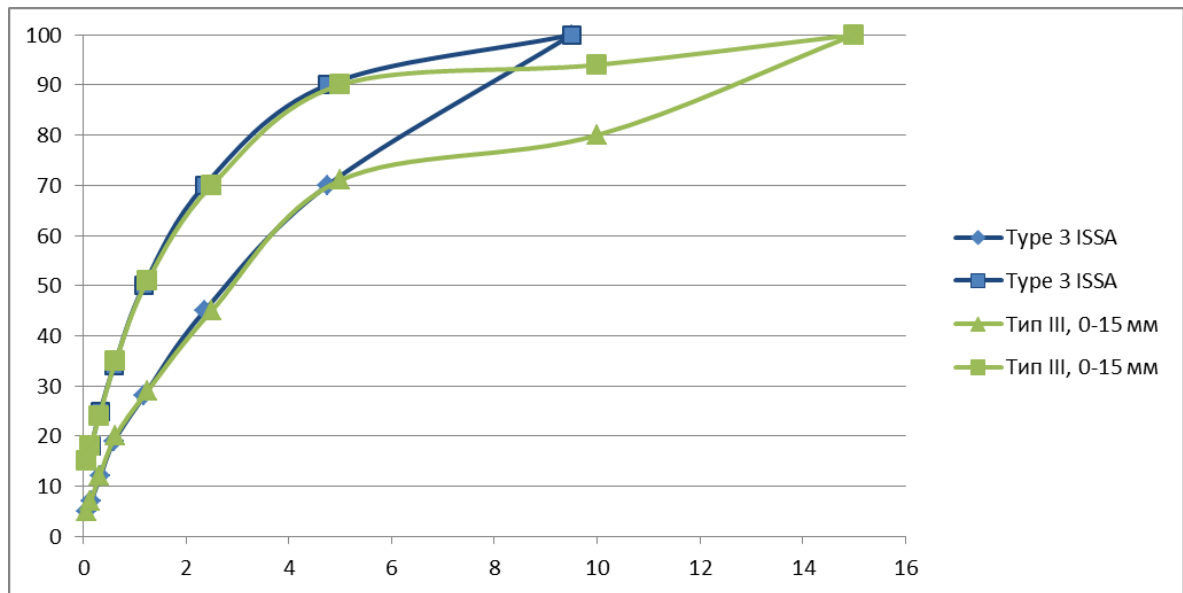


Рис. 3 Порівняння типу 3 за ISSA та запропонованого типу III, 0-15 мм

Як видно з наведених рисунків запропоновані типи сумішей особливо не відрізняються від типів ISSA.

Завідувач кафедри «Автомобільні дороги та мости»  
 Національного університету  
 «Львівська політехніка»,  
 д.т.н., проф.

С.Й. Солодкий

Аспірант каф. «Автомобільні дороги та мости»

Ю.В. Сідун

## Додаток Д

### Акт про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор науково-педагогічної роботи  
Національного університету «Львівська політехніка»  
доц. Давидчак О.Р.

« 20 » 02 2017 р.

АКТ

**про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи  
Сідуна Юрія Володимировича на тему “Підвищення швидкості набору когезійної  
міцності литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей”**

Комісія у складі: голови науково-методичної ради Інституту будівництва та інженерії докілья д.т.н., проф. Соболю Х.С., завідувача кафедрою автомобільних доріг та мостів д.т.н., проф. Солодкого С.Й., заступника завідувача кафедрою автомобільних доріг та мостів к.т.н., доц. Думича І.Ю. склала акт про те, що результати дисертаційної роботи Сідуна Юрія Володимировича на тему “Підвищення швидкості набору когезійної міцності литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей, за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби використовуються і впроваджені в навчальний процес кафедри автомобільних доріг та мостів для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», спеціалізації «Автомобільні дороги та аеродроми». З дисципліни “Сучасні технології в транспортному будівництві та дорожньо-будівельні матеріали” Сідуню Ю.В. в співавторстві з Солодким С.Й. видано дві методичні вказівки до виконання лабораторних робіт “Визначення часу розпаду та швидкості набору когезійної міцності литих емульсійно-мінеральних сумішей для тонкошарових покриттів” та “Визначення фізико-технічних показників дорожніх бітумних емульсій” (відповідно до робочої програми: тема №2 «Бітумні емульсії», тема №3 «Литі емульсійно-мінеральні суміші», тема №4 «Тонкошарові покриття»). Загальний обсяг аудиторних годин вищевказаної дисципліни для денної форми навчання – 48, у т.ч. лекційні заняття – 32, лабораторні заняття – 16; для заочної форми навчання – 14, у т.ч. лекційні заняття – 8, лабораторні заняття – 6.

Використання результатів наукових досліджень Сідуна Ю.В. сприяє вдосконаленню підготовки фахівців.

Голова науково-методичної ради ІБІД

Члени комісії

*Х.С.*  
*С.Й.*  
*І.Ю.*

Соболь Х.С.

Солодкий С.Й.

Думич І.Ю.



## Додаток Е

### Список опублікованих наукових праць за темою дисертації та апробація результатів дисертації

Список опублікованих наукових 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 вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозіє стійкості». Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С.61-62.

Апробація результатів дисертації: 70-та студентська науково-технічна конференція. Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів, жовтень-листопад 2012 р., очна форма участі), XIV Міжнародна наукова конференція «Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля Львів – Кошице – Жешув» (м. Львів, 03-05 вересня 2013 р., очна форма участі), Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології будівництва

й експлуатації автомобільних доріг» (м. Харків, 2013 р., очна форма участі), VII Міжнародна конференція «Поступ у нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості» (м. Львів 19–24 травня 2014 р., очна форма участі), III міжнародна науково-технічна конференція "Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей" (29 травня – 1 червня 2014 р., Луцьк-Світязь, очна форма участі), 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. заочна форма участі), Всеукраїнська студентська наукова конференція "Наукова Україна" з міжнародною участю (м. Дніпро, 25 травня 2015 р., заочна форма участі), 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., заочна форма участі).