Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

НОВАКОВСЬКА ВІКТОРІЯ ЯКІВНА

УДК 625.7/8

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОСТІЙКОСТІ ТА ВОДОСТІЙКОСТІ БІТУМНОГО В'ЯЖУЧОГО ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ МОДИФІКАЦІЄЮ ЕМУЛЬСІЙ ВОДНИМ КАТІОННИМ ЛАТЕКСОМ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____В. Я. Новаковська

Науковий керівник –
Жданюк Валерій Кузьмович
доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д 64.059.01

_____ Р. В. Смолянюк

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Новаковська В.Я. **Підвищення теплостійкості та водостійкості бітумного в'яжучого для поверхневої обробки модифікацією емульсій водним катіонним латексом.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021 р.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню важливої науково-практичної задачі, яка полягає у збільшенні довговічності тонких захисних шарів, влаштованих за технологією поверхневих обробок, за рахунок підвищення теплостійкості та водостійкості бітумного в'яжучого модифікацією бітумних емульсій водним катіонним латексом.

В дисертаційній роботі теоретично обґрунтовано процеси структуроутворення, що протікають в дисперсійному середовищі при додаванні водного катіонного латексу у готову катіонну бітумну емульсію. Обґрунтовано механізм розпаду модифікованої латексом бітумної емульсії на поверхні мінеральних матеріалів.

Експериментально встановлено, що поверхневі властивості водних фаз та катіонних бітумних емульсій на їх основі мають близькі значення, тому обґрунтування вибору емульгаторів для приготування емульсій з певною швидкістю розпаду рекомендовано проводити на основі результатів визначення поверхневих властивостей водних фаз. Встановлено, що зі збільшенням роботи сил адгезії бітумної емульсії спостерігаються зростання значення показника зчеплюваності залишкового бітумного в'яжучого з поверхнею зерен щебеню та скляних пластин.

Експериментально досліджено ступінь впливу різних складників на основні фізико-механічні властивості емульсій. Встановлено, що на однорідність

та стійкість при зберіганні бітумних емульсій більшою мірою впливає тип та концентрація емульгатора, pH, в'язкість вихідного бітуму та умови емульгування. На швидкість розпаду бітумних емульсій переважно впливає тип та концентрація емульгатора. В'язкість бітумних емульсій найбільше залежить від вмісту бітуму.

Встановлено, що зміна величини водневого показника (pH) катіонної бітумної емульсії не призводить до суттєвих змін водостійкості залишкового бітумного в'яжучого, утвореного внаслідок її розпаду, на поверхні щебеню та скляних пластин. Дослідженнями встановлено, що показник утримуючої здатності зерен щебеню залишковим бітумним в'яжучим, визначений за методом Віаліт, є практично не чутливим до величини pH катіонних бітумних емульсій. Показано, що не залежно від величини показника pH, зі зниженням температури випробування спостерігається зменшення величини показника утримуючої здатності зерен щебеню залишковими бітумними в'яжучими, утвореними внаслідок розпаду бітумних емульсій.

Дослідженнями встановлено, що введення водного катіонного латексу до складу бітумних катіонних емульсій, виготовлених на основі дорожніх нафтових окиснених бітумів, практично не позначається на показниках їхніх фізико-механічних властивостей, проте суттєво позначається на теплостійкості та еластичності бітумних в'яжучих, утворених внаслідок їхнього розпаду. Зі збільшенням концентрації водного катіонного латексу у складі бітумних емульсій показники зчеплюваності плівок залишкових бітумних в'яжучих, утворених після розпаду емульсій, з поверхнею зерен щебеню та скляних пластин зростають. Показано, що присутність у складі бітумної емульсії водного катіонного латексу у кількості 3 % від маси бітуму спричиняє зростання показника зчеплюваності з поверхнею зерен гранітного щебеню на 95 %, порівняно з вихідним окисненим бітумом марки БНД 70/100. За вмісту 6 % водного катіонного латексу у складі катіонної бітумної емульсії значення показника зчеплюваності плівок бітумного в'яжучого з поверхнею скляних пластин становить 97 %.

Експериментально встановлено, що бітумні в'яжучі, утворені внаслідок розпаду модифікованих катіонним латексом бітумних емульсій, характеризуються більшою величиною утримуючої здатності в діапазоні низьких температур, порівняно з бітумними в'яжучими, утвореними внаслідок розпаду бітумних емульсій без латексу. Показано, що після п'яти циклів заморожування–відтавання пластин з приживленими зернами щебеню показник утримуючої здатності бітумного в'яжучого, утвореного внаслідок розпаду модифікованої бітумної емульсії, зменшився на 8 %, а бітумного в'яжучого з немодифікованої бітумної емульсії на 40 %.

Встановлено, що бітумним в'яжучим, утвореними внаслідок розпаду модифікованих емульсій, притаманна менша чутливість показника утримуючої здатності до впливу циклічного заморожування-відтавання, порівняно з бітумними в'яжучими, утвореними внаслідок розпаду бітумних емульсій без латексу. Показано, що температурна чутливість показника еластичності, а також показника утримуючої здатності зерен щебеню бітумним в'яжучим, утвореним внаслідок розпаду бітумної емульсії з 6 % латексу, є найменшою, порівняно із бітумними в'яжучими, утвореними внаслідок розпаду бітумних емульсій з 4,5 %, 3 % та 1,5 % латексу від маси бітуму.

Результати досліджень впроваджені у виробничих умовах під час влаштування тонкого захисного шару покриття за технологією поверхневої обробки шляхом синхронного нанесення модифікованої бітумної емульсії та розсипання щебеню на поверхню асфальтобетонного покриття на автомобільній дорозі Р-78 «Харків – Зміїв – Балаклія – Гороховатка», а також у навчальний процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Результати дисертаційного дослідження були використані при розробленні ДСТУ Б В.2.7-129:2013 «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови» та «Посібник до ДСТУ Б В.27-129:2013 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві».

Ключові слова: бітумна емульсія, водостійкість, залишкове бітумне в'яжуче, латекс, поверхневий натяг, еластичність, температура розм'якшеності, поверхнева обробка, утримуюча здатність.

ABSTRACT

Novakovska V. Y. **Increase of heat resistance and water resistance of bitumen binder for surface treatment by modification of emulsions aqueous cationic latex.** – On the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Sciences degree by speciality 05.22.11 – Motor Roads and Airfields (192 – Construction and Civil Engineering). – Kharkiv National Automobile and Highway University Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The thesis is devoted to solving an important scientific and practical problem, which is to increase the durability of thin protective layers arranged by surface treatment technology, by increasing the heat resistance and water resistance of bituminous binder by modifying bitumen emulsions with aqueous cationic latex.

The thesis theoretically substantiates the processes of structure formation that take place in the dispersion medium when adding aqueous cationic latex to the finished cationic bitumen emulsion. The mechanism of breaking of latex-modified bitumen emulsion on the surface of mineral materials is substantiated.

It is experimentally established that the surface properties of aqueous phases and cationic bitumen emulsions based on them have similar values, so the rationale for the choice of emulsifiers for preparing emulsions with a certain breakdown rate is recommended based on the results of determining the surface properties of aqueous phases. It was found that with increasing work of the adhesion forces of the bitumen emulsion, there is an increase in the value of the adhesion of the residual bituminous binder to the surface of the grains of aggregate and glass plates.

The degree of influence of various components on the basic physical and mechanical properties of emulsions has been experimentally investigated. It has been

established that the homogeneity and stability during storage of bitumen emulsions are more influenced by the type and concentration of emulsifier, pH, viscosity of the original bitumen and emulsification conditions. The breakdown rate of bitumen emulsions is mainly influenced by the type and concentration of the emulsifier. The viscosity of bitumen emulsions depends mostly on the bitumen content.

It was found that the change in the value of the hydrogen index (pH) of the cationic bitumen emulsion does not lead to significant changes in the water resistance of the residual bituminous binder formed due to its breaking on the surface of aggregate and glass plates. Studies have shown that the retention capacity of aggregate by residual bituminous binder, determined by the Vialit method, is practically insensitive to the pH value of cationic bitumen emulsions. It is shown that regardless of the pH value, with a decrease in the test temperature, there is a decrease in the value of the retention capacity of aggregate by residual bituminous binders formed due to the breaking of bitumen emulsions.

Studies have shown that the introduction of aqueous cationic latex in the composition of bituminous cationic emulsions made from road petroleum oxidized bitumen, has little effect on their physical and mechanical properties, but significantly affects the heat resistance and elasticity of their bituminous binders. As the concentration of aqueous cationic latex in the composition of bitumen emulsions increases, the adhesion of the films of residual bituminous binders formed after the breaking of the emulsions with the surface of the aggregate and glass plates increases. It is shown that the presence in the composition of the bitumen emulsion of aqueous cationic latex in the amount of 3 % by weight of bitumen causes an increase in adhesion to the aggregate by 95 % compared to the original oxidized bitumen BND 70/100. With a content of 6 % aqueous cationic latex in the composition of the cationic bitumen emulsion, the value of the adhesion index of the bituminous binder films to the surface of the glass plates is 97 %.

It has been experimentally established that bituminous binders formed by the breaking of cationic latex-modified bitumen emulsions are characterized by a higher retention capacity in the low temperature range compared to bituminous binders

formed by the breaking of bitumen emulsions without latex. It is shown that after five cycles of freezing-thawing of plates with aggregate, the retention capacity of bituminous binder formed by the breaking of modified bitumen emulsion decreased by 8%, and bituminous binder from unmodified bitumen emulsion.

It has been found that bituminous binders formed due to the breaking of modified emulsions have a lower sensitivity of the retention capacity to the effects of cyclic freezing-thawing, compared to bituminous binders formed due to the breaking of bitumen emulsions without latex. It is shown that the temperature sensitivity of the elasticity index, as well as the index of the retention capacity of aggregate by bituminous binder formed by the breakdown of bitumen emulsion with 6 % latex, is the lowest compared to bituminous binders formed by breakdown of bitumen emulsions of 4,5 %, 3 % and 1,5 % latex by weight of bitumen.

The results of research are implemented in production conditions during the installation of a thin protective layer of coating by surface treatment technology by synchronous application of modified bitumen emulsion and scattering of gravel on the asphalt surface on the highway R-78 "Kharkiv - Zmiiv - Balakliya - Horokhovatka", as well as in the educational process of Kharkiv National Automobile and Highway University, specialty 192 "Construction and Civil Engineering". The results of the dissertation research were used in the development of DSTU B V 2.7-129: 2013 "Road bitumen emulsions. Technical specifications" and "Manual to DSTU B. V.27-129: 2013 on technologies for preparation and application of cationic bitumen emulsions in road construction".

Keywords: bitumen emulsion, water resistance, residual bitumen binder, latex, surface tension, elasticity, softening point, surface treatment, retention capacity.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. **Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:**V. Zhdaniuk, V. Novakovska. Estimating the effect of aqueous cationic latex from the class of thermal elastic plastics on the properties of bitumen emulsions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №4 (6(112)). P. 24-32. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237323.

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька, О. М. Кривохижа, С. М. Микитенко. До питання про застосування емульсій бітумних дорожніх при будівництві та ремонті автомобільних доріг. *Автошляховик України*. 2005. №6. С. 33- 35.

3. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька. Дослідження властивостей емульгаторів для дорожніх бітумних емульсій. *Вісник ХНАДУ*. 2006. Вип. 34 - 36. С. 142-145.

4. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька. Катіонні бітумні емульсії модифіковані водним катіонним латексом. *Автошляховик України*. 2008. №1. С. 32-36.

5. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька. Термодинамічні властивості катіонних бітумних емульсій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наукових праць*. *Київ, НТУ.* 2008. Вип.75. С. 150-153.

6. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька. Властивості катіонних бітумних емульсій модифікованих водним катіонним латексом “Butonal NS 198”. *Вісник ХНАДУ*. 2008. Вип. 40. С. 17-20.

7. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая. Взаимосвязь термодинамических и физико-механических характеристик катионных битумных эмульсий. *Дороги і мости: зб. наукових праць*. 2009. Вип. 11. С. 343-349.

8. В. Я. Новаковська. Дослідження процесу розпаду бітумних та модифікованих бітумних емульсій. *Зб. наукових праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип. 157. С. 92-97.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9 В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая. Особенности модифицирования битумных эмульсий полимерами. «*Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве».* Материалы VII Международной научно-технической интернет-конференции. Х.: ХНАГХ. 2006. С. 53-54.

10. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая, Ю. Г. Чугуенко. Свойства битумных эмульсий, модифицированных полимерами. *«Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства»*. Материалы II международной научно-технической интернет-конференции. Х.: ХНАГХ. 2007. С. 146-147.

11. Е. А. Аринушкина, С. В. Бородина, В. Я. Терлецкая. Влияние полимера класса термоэластопластов на свойства катионных битумных эмульсий. *«Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии»*. Сборник докладов международной научно-практической конференции. Белгород. 2007. Часть 4. С. 311-312.

12. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая, Е. А. Аринушкина. Сравнительное исследование скорости распада битумных и битумно-полимерных эмульсий. *«Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве».* Материалы VII Международной научно-технической интернет-конференции Х.: ХНАГХ. 2007. С. 15-17.

13. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая. Свойства битума, выделенного из катионных дорожных битумных эмульсий. *«Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог»*. Материалы международной научно-технической конференции молодых учёных и аспирантов Х.: ХНАДУ. 2008. С. 201-204.

14. В. К. Жданюк, Е. И. Артамонова, Е. А. Аринушкина, В. Я. Терлецкая. Катионные дорожные битумные эмульсии с добавкой водного латекса «Butonal NS 198» для дорожного строительства. «*Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях»*. Материалы Девятой ежегодной международной Промышленной конференции, п. Славское. 2009. С. 25-227.

15. В. Я Терлецкая, В. К. Жданюк. Існуючі уявлення про структуру катіонних бітумних емульсій з добавками полімерів. *«Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів»*. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожнього факультету. Харків. 2010. С. 163-168.

16. В. Я. Новаковская, В. К. Жданюк. Аналіз впливу водного катіонного латексу Butonal NS 198 на властивості бітумних катіонних емульсій та залишкового в'яжучого. *«Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті».* Тези доповідей 8-ої міжнародної науково-технічної конференції. 2019. ч. 2. Харків: УкрДУЗТ. С. 176-177.

ЗМІСТ

ВСТУП ……...13
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ……..19
1.1 Основні напрямки застосування бітумних емульсій під час будування та ремонтування конструкцій дорожніх одягів……...19
1.2 Існуючі уявлення про складники та їхній вплив на властивості катіонних бітумних емульсій……..…….22
1.3 Вплив модифікації бітумних емульсій полімерами на властивості залишкового в'яжучого……..…….30
1.4 Способи приготування модифікованих дорожніх бітумних емульсій…39
1.5 Висновки по розділу. Мета і задачі дослідження…….41
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ……...45
2.1 Вплив складу модифікованих бітумних дорожніх емульсій на процеси структуроутворення та властивості залишкового в'яжучого……45
2.2 Програма експериментальних досліджень……..…….54
2.3 Висновки по розділу ..……..55
РОЗДІЛ 3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ…….57
3.1 Характеристика матеріалів, прийнятих для дослідження……57
3.2 Методи і прилади, прийняті для дослідження……..60
3.3 Висновки по розділу……67
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕННЬ…….68
4.1 Дослідження впливу складу водних фаз та бітумних емульсій на їх термодинамічні та фізико-механічні властивості…..……...68
4.2 Дослідження впливу різних чинників на фізико-механічні властивості бітумних емульсій ……...….80
4.3 Дослідити вплив різних чинників на властивості бітуму, утвореного внаслідок розпаду емульсій……...…...95
4.4 Дослідження впливу водного катіонного латексу

Butonal NS 198 на властивості бітумних катіонних емульсій та залишкового в'яжучого……...103
4.5 Висновки по розділу ……..116
РОЗДІЛ 5 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ……..116
5.1 Рекомендації щодо технології модифікації дорожніх бітумних емульсій водним катіонним латексом……...……119
5.2 Впровадження результатів дослідження ……...128
5.2.1 Рекомендації щодо модернізації емульсійної бази ТзОВ «Паркінг+»…….....128
5.2.2 Влаштування поверхневої обробки на автомобільній дорозі Р-78 «Харків – Зміїв – Балаклія – Гороховатка» укладальною дорожньою колоною Shafer RZS 14000……...…….129
5.3 Розробка нормативно-технічних документів……..133
5.4 Оцінка економічної ефективності використання модифікованих бітумних емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки…….……..…...134
5.5 Висновки по розділу……..136
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ……138
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….....141
ДОДАТОК А ДОВІДКИ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ…….……159
ДОДАТОК Б ЛОКАЛЬНІ КОШТОРИСИ ……165
ДОДАТОК В СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ ……...168

ВСТУП

Актуальність роботи. Збереження та планомірний розвиток мережі автомобільних доріг в умовах обмежених фінансових ресурсів вимагає застосування раціональних технологій відновлення та експлуатаційного утримання дорожнього покриття. До таких технологій належить влаштування тонких захисних шарів, що сукупно забезпечують захист поверхні існуючого шару покриття від зносу, його гідроізоляцію і збільшують коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям. Влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки можна виконувати з використанням бітумів або дорожніх бітумних емульсій. Можливість використання бітумних емульсій в холодному стані спільно з вологими мінеральними матеріалами та нанесення їх на поверхню існуючого шару покриття за температури навколишнього середовища свідчить про економічну та екологічну привабливість такої технології.

Проте, сукупність проблем пов’язаних з виготовленням бітумних емульсій з регульованими фізико-механічними властивостями на основі окиснених бітумів обмежує широке застосування поверхневих обробок. Залишковому в’яжучому, що утворюється після розпаду традиційної дорожньої бітумної емульсії, властиві недостатньо висока теплостійкість, водостійкість, еластичність та утримуюча здатність зерен щебеню. Це зменшує довговічність тонких захисних шарів влаштованих за технологією поверхневої обробки з використанням дорожніх бітумних емульсій при зростаючих навантаженнях на них від коліс сучасних транспортних засобів. Зазначене свідчить про актуальність дисертаційної роботи.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно основних положень «Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету міністрів України від 30. 05. 2018 р. № 430-р), «Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки» (постанова Кабінету міністрів України

від 21. 03. 2018 р. № 382), а також згідно планів науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України та тематики виконання науково-дослідних робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету під час виконання наступних тем: № 35-12-08 «Провести моніторинг якості емульсій, що застосовуються дорожніми підприємствами України та надати пропозиції по їх оптимальному використанню» (державний реєстраційний № 0108U007431), № 35-01-08 «Контроль за дотриманням технологічних режимів при улаштуванні та ремонті дорожніх покриттів асфальтобетонними сумішами, які виготовляються на підприємстві ТзОВ «Паркінг +» (державний реєстраційний № 0108U002983), № 114/35-50-11 «Розробити посібник до ДСТУ Б В.27-129 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві» (державний реєстраційний № 0111U005504).

Мета дисертаційної роботи. Підвищення теплостійкості та водостійкості бітумного в'яжучого модифікацією емульсій водним катіонним латексом для збільшення довговічності поверхневих обробок.

Задачі дослідження.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні задачі:

1. Виконати аналіз існуючих даних щодо впливу складників на властивості бітумних емульсій та залишкового бітумного в'яжучого, розглянути існуючі способи модифікації бітумних емульсій полімерами.

2. Теоретично обґрунтувати процеси структуроутворення та механізм розпаду модифікованих емульсій на поверхні мінеральних матеріалів та експериментально підтвердити особливості впливу на них індивідуальних складників.

3. Комплексно дослідити вплив вмісту емульгаторів та кислоти на термодинамічні характеристики водних фаз та показники фізико-механічних властивостей емульсій на основі окиснених нафтових бітумів.

4. Провести комплексні експериментальні дослідження впливу водного катіонного латексу на фізико-механічні властивості емульсій та залишкового бітумного в’яжучого.

5. Дослідити вплив вмісту водного катіонного латексу, як складника катіонних бітумних емульсій, на теплостійкість, водостійкість, еластичність та показник утримуючої здатності зерен щебеню бітумним в’яжучим. Визначити температурні залежності показника утримуючої здатності зерен щебеню бітумним в’яжучим та вплив на нього циклічного заморожування-відтавання.

6. Розробити рекомендації щодо технології модифікації дорожніх бітумних емульсій водним латексом та виконати впровадження отриманих результатів у виробничих умовах.

Об'єкт дослідження. Дисперсна система у вигляді модифікованої дорожньої катіонної бітумної емульсії для поверхневої обробки.

Предмет дослідження. Закономірності впливу складників на властивості модифікованих катіонних бітумних емульсій та бітумного в’яжучого.

Методи дослідження. У роботі використані стандартні методи визначення фізико-механічних властивостей катіонних бітумних емульсій та бітумів, методи статистичної обробки експериментальних даних і оцінки економічної ефективності. Для вирішення поставлених задач використано методи визначення поверхневого натягу, крайового кута змочування, седиментації бітумних емульсій, зчеплюваності в’яжучого з мінеральною поверхнею. Утримуючу здатність зерен щебеню бітумним в’яжучим для поверхневих обробок визначали за методом Віаліт.

Наукова новизна одержаних результатів.

- дістали подальшого розвитку теоретичні дослідження процесів структуроутворення, що протікають в дисперсійному середовищі при введенні водного катіонного латексу у готову катіонну бітумну емульсію, та механізму її розпаду;
- дістали подальшого розвитку дослідження закономірностей впливу різних емульгаторів на термодинамічні властивості водних фаз та емульсій на їх

основі, які стали підґрунтям для вибору емульгаторів та їх концентрацій при підборі складу та приготуванні модифікованих емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки;

- вперше комплексно досліджено вплив вмісту водного катіонного латексу у складі бітумних емульсій на теплостійкість, водостійкість, еластичність та здатність бітумного в'яжучого утримувати зерна щебеню за різних температур та кількості циклів заморожування-відтавання.

Практичне значення одержаних результатів.

Прикладним аспектом використання наукового результату є підвищення довговічності тонких захисних шарів влаштованих за технологію поверхневої обробки з використанням бітумних емульсій модифікованих водним катіонним латексом.

Результати досліджень були використані при розробленні наступних нормативних документів: ДСТУ Б В.27-129:2013 «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови», «Посібник до ДСТУ Б В.27-129 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві».

За розробленими рекомендаціями щодо технології модифікації дорожніх бітумних емульсій водним катіонним латексом виконано науково-технічний супровід робіт з влаштування поверхневої обробки на автомобільній дорозі Р-78 «Харків–Зміїв–Балаклія–Гороховатка».

Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті у лекційних курсах «Технологія будівництва автомобільних доріг», «Прогресивні технології експлуатації автомобільних доріг» та у дипломне проектування для студентів, що навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Особистий внесок здобувача. Наведені у дисертаційній роботі результати отримані здобувачем особисто або за його безпосередньою участю.

В опублікованих працях здобувачу належать: аналіз літератури щодо особливостей модифікації катіонних бітумних емульсій полімерами [1, 8];

розробка теоретичної моделі, що описує процес взаємодії бітумної емульсії з водним катіонним латексом, та механізму розпаду модифікованої емульсії на поверхні мінеральних матеріалів [1, 7, 14]; порівняльні експериментальні дослідження термодинамічних властивостей водних розчинів емульгаторів та емульсій на їх основі [2, 4, 5,]; встановлення взаємозв'язку між поверхневими та фізико-механічними властивостями емульсій [6]; порівняльні експериментальні дослідження впливу різних емульгаторів на властивості залишкового в'яжучого [12]; експериментальні дослідження впливу водного катіонного латексу серії «Butonal NS 198» на властивості катіонних бітумних емульсій та залишкового в'яжучого [5, 7, 9, 10, 11, 13, 15].

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів підтверджується достатнім обсягом експериментальних досліджень, що отримані з використанням сучасного лабораторного обладнання, апробацією результатів роботи та виробничим впровадженням.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на VI та VII міжнародних науково-технічних інтернет-конференціях «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве» (Харків, ХНАГХ, 2006 р. та 2007 р.); II міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства» (Харків, ХНАГХ, 2007 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Структуроутворення, технологія, властивості та довговічність органічних в'яжучих і бетонів на їх основі» (Харків, ХНАДУ, 2007 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии» (Бєлгород, 2007 р.); міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених і аспірантів «Сучасні технології будівництва автомобільних доріг» (Харків, ХНАДУ, 2008 р.); міжнародній конференції молодих фахівців «Молоді вчені – автомобільним дорогам XXI століття» (Київ, НТУ, 2008 р.); міжнародній Промисловій конференції «Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціалу в сучасних умовах» (Славське,

2009 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів» (Харків, ХНАДУ, 2010 р.); 8-ій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків, УкрДУЗТ. 2019 р.); щорічних науково-технічних конференціях викладачів та наукових співробітників ХНАДУ (2007–2021 р.р.) .

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень опубліковані в 16 друкованих працях, зокрема 7 публікацій у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (включені до міжнародної наукометричної бази Google Scholar), 1 стаття у виданні, що включене до наукометричної бази SCOPUS; 8 у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій.

Структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 171 сторінках, з яких 158 сторінки належать до основного тексту, і складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 163 найменувань, 3 додатків, містить 73 рисунки і 23 таблиці.

РОЗДІЛ 1
СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні напрямки застосування бітумних емульсій під час будування та ремонтування конструкцій дорожніх одягів

Використання дорожніх бітумних емульсій при будуванні та ремонтуванні шарів дорожнього одягу має низку переваг порівняно з використанням традиційних нафтових дорожніх бітумів у відповідних технологіях. Бітумні дорожні емульсії використовують у сумішах з холодними і вологими мінеральними матеріалами, що дозволяє подовжити будівельний сезон і зменшити енерговитрати завдяки відсутності потреби в нагріванні емульсії і мінерального матеріалу. Можливості використання бітумних емульсій при відносно низьких температурах знижують пожежонебезпечність, при цьому практично відсутні шкідливі викиди в атмосферу, на відміну від технологій із використанням гарячого нафтового дорожнього бітуму, при роботі з яким відбувається випаровування цілого ряду шкідливих речовин, які негативно впливають не тільки на робітників, але і на території, що прилягають до автомобільної дороги [33, 43, 128]. Низька в’язкість дорожніх бітумних емульсій і спорідненість з вологою поверхнею мінеральних матеріалів забезпечує гарне змочування і обволікання поверхні мінеральних матеріалів різного ступеня дисперсності і походження. Прилипання бітуму, який виділяється при розпаді катіонної бітумної емульсії, до вологої поверхні мінеральних матеріалів різного походження забезпечується завдяки наявності у складі емульсії катіоноактивного емульгатора, що виконує роль адгезиву. Завдяки цьому плівка залишкового в’яжучого на поверхні мінеральних матеріалів має необхідну водостійкість і забезпечує довговічність дорожнього покриття.

Застосування дорожніх бітумних емульсій при будуванні і ремонтуванні дорожніх покриттів передбачає використання емульсій з різною в’язкістю, швидкістю розпаду та вмістом бітуму в залежності від виду роботи, що

виконуються (рис. 1.1) [3, 10, 14, 18, 20, 22, 24, 49, 65, 67, 68, 76, 77, 79, 83, 84, 89, 91, 94, 105, 106, 123, 125, 136, 156].

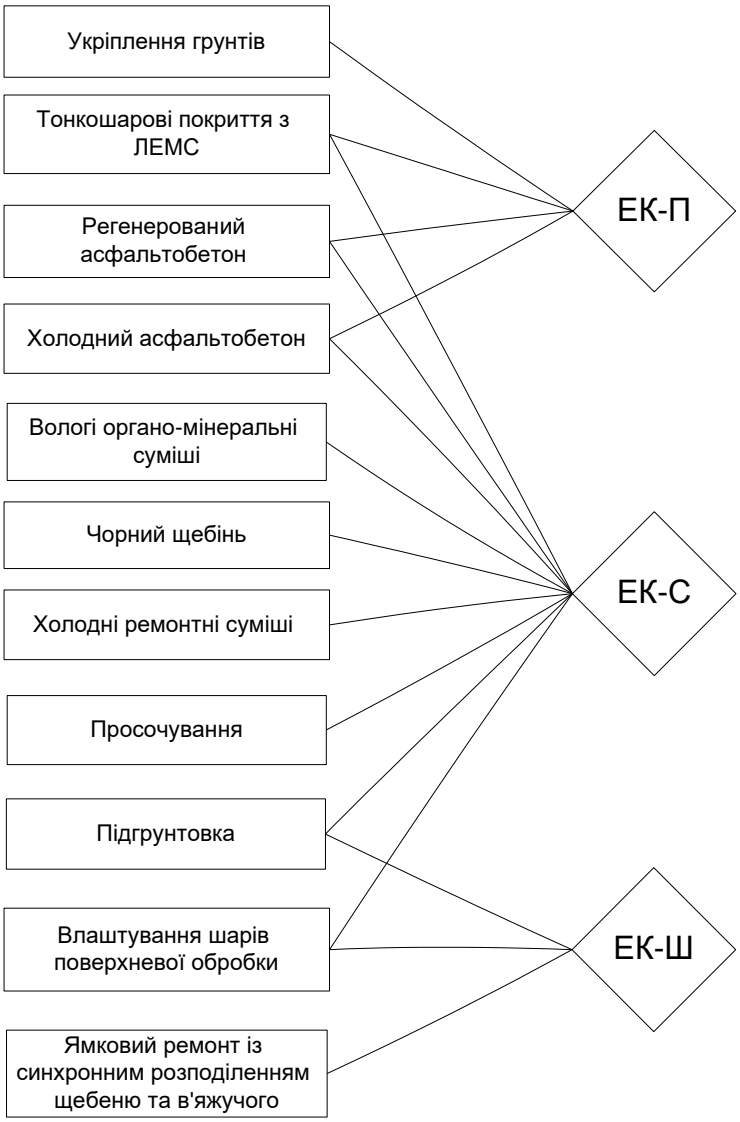


Рисунок 1.1 – Застосування катіонних бітумних емульсій з різною швидкістю розпаду (ЛЕМС – лита емульсійно-мінеральна суміш, ЕК-П - емульсія катіонна повільнорозпадна, ЕК-С - емульсія катіонна середньнорозпадна, ЕК-Ш - емульсія катіонна швидкорозпадна)

Згідно з результатами досліджень, проведеним на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ [54], на емульсійних заводах в Україні переважно виробляють швидкорозпадні бітумні емульсії (рис. 1.2), які

переважно використовують для ямкового ремонту та підґрунтовки поверхні шарів основи перед влаштуванням наступного шару.

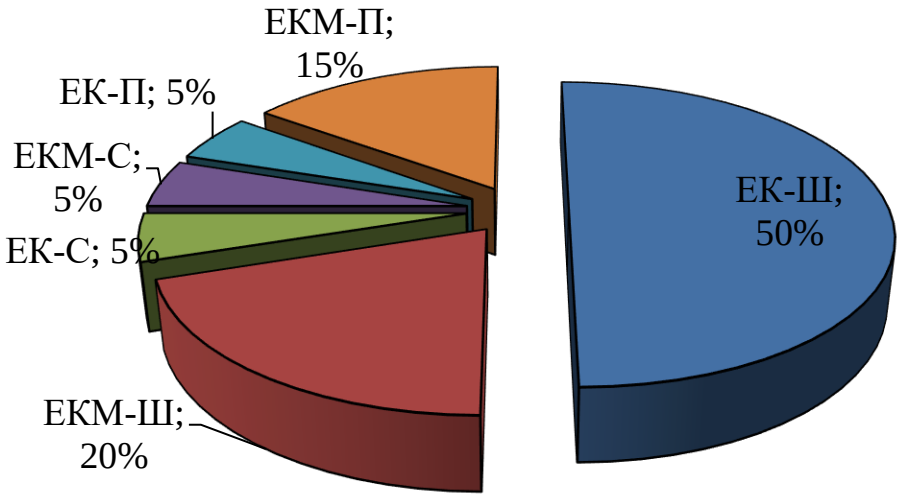


Рисунок 1.2 – Виробництво катіонних бітумних емульсій в Україні

Обмеженість застосування бітумних емульсій в інших технологіях пов’язана в першу чергу з недостатнім досвідом щодо підбору складу та особливостей виготовлення емульсій з різною швидкістю розпаду та в’язкістю. Частіше всього на емульсійному заводі через відсутність спеціалізованої лабораторії, спеціалістів, а головне чітких рекомендацій щодо підбору складу виготовляють бітумні емульсії за одним підібраним рецептом. Виготовлену емульсію намагаються застосовувати як для ямкового ремонту, так і для підґрунтовки, і для виготовлення холодних ремонтних сумішей. Як наслідок – недостатня якість влаштованих шарів.

Для забезпечення якісного виконання робіт при будуванні та ремонтуванні дорожнього одягу необхідно для кожної технології виготовляти емульсію з певними фізико-механічними властивостями: в’язкістю, однорідністю, стійкістю при транспортуванні та зберіганні, швидкістю розпаду.

Особливо це важливо для тонких захисних шарів, що влаштовуються за технологією поверхневої обробки, які сукупно забезпечують захист поверхні

існуючого шару покриття від зносу, його гідроізоляцію і збільшують коефіцієнт зчеплення колеса з ним.

1.2 Існуючі уявлення про складники та їхній вплив на властивості катіонних бітумних емульсій

Емульсії представляють собою двофазні колоїдні системи, в яких одна рідина у вигляді дрібних крапель диспергована в інший, що не розчиняє її. Властивості дорожніх бітумних емульсій, в яких одна з фаз – вода, а інша бітум, можна описати за допомогою класичних законів фізичної хімії. Значний вклад в розвиток емульсійних технологій внесли результати досліджень процесів структуроутворення, властивостей емульсій та поверхневих явищ на границі розділу фаз таких вчених як А. А. Абрамзон, А. В. Берштейн, М. І. Волков, С. С. Воюцький, І. П. Гамеляк, С. В. Єгоров, В. К. Жданюк, А. Д. Зімон, В. О. Золотарьов, Е. Кінлок, В. Клейтон, Л. О. Кирилова, Л. Ф. Кириченко, М. І. Кучма, Т. А. Маркова, В. В. Мозговий , М. Ф. Нікішина, А. М. Онищенко, Е. М. Рвачова, І. А. Плотнікова, П. А. Ребіндер, Л. Ф. Ступакова, Ю. В. Сідун, С. Й. Солодкий, А. Фридрихсберг, А. Шварц, Ф. Шерман, А. Джеймс, К. Лоу, Д. Калкман, В. Екман, Г. Холлеран, Д. Лезуер, К. Такамура [1, 6, 11-13, 19, 35, 53, 56, 57, 60, 68, 73, 83, 88, 90, 101, 102, 107, 108, 112, 114, 124, 129 – 131, 133, 134, 146] та ін.

Згідно класичних уявлень тип емульсії залежить від співвідношення обсягів рідких фаз, умов емульгування і від інших факторів, але головну роль виконує природа емульгатора. Емульгатор для емульсій представляє собою поверхнево-активну речовину (ПАР). В залежності від заряду активної частини ПАР-емульгатори розрізнюють аніоноактивні, катіоноактивні та неіоногенні. Емульгатори, адсорбуючись на поверхні розділу рідин, знижують поверхневий натяг, тим самим полегшують процес емульгування і утворюють міцну оболонку, що не розривається при зіткненнях крапель. Низький поверхневий натяг сприятливо позначається на стабільності емульсій з термодинамічної

точки зору, а структурована оболонка додає емульсії стійкість при зберіганні. Дія емульгатора тим ефективніше, чим краще збалансовані полярні і неполярні частини його молекул між обома фазами емульсії [1, 5, 13, 60].

Як складники в бітумні дорожні катіонні емульсії входить: бітум, вода, емульгатор, кислота, додатково можливо використовувати різні домішки.

Бітум є основним складником емульсії і представляє собою суміш високомолекулярних органічних сполук, серед яких виділяють три основних групи: асфальтени, смоли та масла. В залежності від вмісту та співвідношення цих груп виділяють три структурні типи бітуму [18, 56, 88].

Згідно з моніторингом якості вітчизняних бітумів, що був проведений С. В. Кіщинським та Л. Ф. Кириченко, дорожні бітуми вітчизняного виробництва в більшості є окисненими бітумами III типу [58]. Такі бітуми відрізняються досить високим вмістом активних функціональних груп. Сполуки, що мають у своєму складі ці групи, здебільшого, входять до складу смол і асфальтенів. Масляна фракція бітумів грає роль дисперсійного середовища, в якому диспергувані і частково розчинені асфальтени і смоли.

Аналіз структурних типів бітумів за критерієм групового хімічного складу, проведений Ю. В. Сідуном та С. Й. Солодким, також показав, що дорожні бітуми вітчизняного виробництва в більшості є окисненими бітумами III типу золь-гель та характеризуються кислотними числами 0,5 - 0,6 мг KOH/г, а закордонні дистиляційні бітуми, виготовлені із важкої нафти тяжіють до II структурного типу «золь» та характеризуються кислотними числом 3,5 мг KOH/г [95-97]. Для виготовлення емульсій згідно з дослідженнями В. Екмана [124] рекомендують використовувати саме дистиляційні бітуми, на яких можна отримати більш стабільні та однорідні емульсії.

В своїх роботах, що пов’язані з дослідженнями властивостей катіонних бітумних емульсій на вітчизняних окиснених бітумах, М. І. Кучма, М. Ф. Нікішина стверджують, що краще емульгуються малов’язкі бітуми другого та третього структурних типів [63, 73, 74]. При цьому згідно з результатами їх досліджень краще емульгуються бітуми у складі яких

співвідношення смол до асфальтенів знаходиться в межах 0,5-2,0 [63]. В той же час, згідно з дослідженнями Г. Холлерана, Д. Калкмана, це співвідношення для дистиляційних бітумів складає більше 3 [129, 133]. На наш погляд ці розбіжності можуть бути пов'язані з вмістом та природою інших компонентів, що обумовлено різним походженням нафти та способом її переробки.

До початку 80-х років минулого століття для приготування бітумних емульсій більше використовували аніоноактивні емульгатори. Це було пов'язано із дефіцитом на вітчизняному ринку амінів, які найбільше підходять для виготовлення катіоноактивних емульгаторів. Катіоноактивні емульгатори частіше виготовляли з відходів виробництва, або використовували катіоноактивні ПАР, що застосовували в інших сферах народного господарства. До основних катіонних емульгаторів, які виготовляли в нашій країні, відносились первинні аліфатичні аміни, катіоноактивна речовина БП-3, карбоксиламіни [104], катапін А, алкілтриметіламонійхлорид [79], алкілдиметилбензіламоній хлорид, ацетати та окисли амінів та інші ПАР [63].

Згідно з проведеним аналізом літературних джерел можна виділити основні групи сучасних катіоноактивних емульгаторів в залежності від їхнього хімічного складу :

- моноаміни ($[RN^+H_{23}]Cl^-$),
- діаміни ($[RN^+H_2CH_2CH_2CH_2RN^+H_3]Cl_2^-$),
- етоксіловані аміни ($RN^+H(C_2H_4O)_x(C_2H_4O)_yCl^-$),
- алкіламідоаміни ($[RCONHCH_2CH_2N^+H_2CH_2CH_2N^+H_3]Cl_2^-$),
- хлориди четвертинного амонію ($RN^+(CH_3)_3Cl^-$).,
- поліаміни [161].

Функціональна дія катіоноактивних емульгаторів забезпечується в результаті їх взаємодії з кислотою. Через несталий склад сучасних емульгаторів важко теоретично розрахувати необхідну кількість кислоти, тому потрібну кількість кислоти встановлюють на основі даних лабораторного підбору, виконаного виходячи з умов забезпечення нормативних вимог до pH бітумних

емульсій. На сьогодні чітка та проста методика підбору кількості кислоти у складі бітумних дорожніх емульсій відсутня.

Для підвищення адгезії залишкового в'яжучого до складу емульсії (в бітум або в водну фазу) можна додатково вводити поверхнево-активні речовини.

Одним із основних показників якості бітумних дорожніх емульсій є дисперсність. Дисперсність напряму впливає на інші важливі характеристики: в'язкість, однорідність, стійкість емульсій при зберіганні та транспортуванні, швидкість розпаду, товщину плівки, яку емульсія утворює на поверхні мінеральних матеріалів.

Більшість дослідників вважають, що на дисперсність бітумних дорожніх емульсій значною мірою впливає в'язкість та тип вихідного бітуму. В роботах [81, 82] встановлено, що при однаковій температурі емульгування з менш в'язких бітумів III структурного типу виходять більш високодисперсні і однорідні емульсії. Проте, згідно дослідженням М. І. Кучми, емульсіям на менш в'язкому бітумі були властиві гірші показники стабільності при транспортуванні [63]. Так, наприклад, в емульсіях на бітумі марки БНД 150/220 однорідність погіршувалась після 4 годин струшування на лабораторному приладі в 14 разів, тоді як на бітумі марки БНД 100/150 – у 1,5-2 рази. Емульсії на бітумі марки БНД 70/100 зразу після виготовлення були більш неоднорідні, але їх однорідність практично не змінювалась після тривалого струшування.

В Україні більшість бітумів готують для приготування дорожніх емульсій шляхом розріджування гасом, уайт-спіритом, вакуумним газойлем або масляними фракціями до марки БНД 100/150. При цьому слід зазначити, що згідно досліджень [81], при незначному розрідженні бітуму (1 %) гасом середній діаметр частинок знижується, а при подальшому розрідженні збільшується, що приводить до збільшення полідисперсності емульсії. Тому вплив кількості розріджувача та можливість використання в'язких бітумів для виготовлення стабільних емульсій потребує додаткових досліджень.

Дослідженнями А. І. Ляпіної та І. А. Плотникової [81-84] впливу параметрів емульгування на дисперсність катіонних бітумних емульсій

встановлено, що при дотриманні однакової в'язкості бітумів в процесі емульгування (за допомогою регулювання температури або тиску) їх вихідна в'язкість не впливала на показник середнього діаметру крапель емульсії, проте середньоквадратичні відхилення дещо збільшувались при зниженні в'язкості вихідного бітуму, що свідчило також про збільшення полідисперсності емульсій. Слід відмітити, що оптимальною в'язкістю бітуму при емульгуванні більшість дослідників вважають 200 сПз [74, 81, 124, 131].

Узагальнення даних, які наведені в літературних джерелах [1, 5, 60, 63, 82, 103, 124, 131] показує, що дисперсність і стабільність емульсії значною мірою залежить від природи і концентрації емульгатора.

Емульгатор полегшує диспергування бітуму у водній фазі, знижуючи поверхневий натяг на межі розділу бітум-вода та запобігає коалесценції цих крапель, забезпечуючи агрегативну стійкість крапель бітуму у водній фазі. Емульгуюча здатність емульгаторів тісно пов'язана з їх розчинністю в дисперсійному середовищі і об'ємно-колоїдними властивостями розчинів, зокрема здатністю утворювати міцели [108, 112, 114].

Результати досліджень емульгуючої здатності показали [117], що більш однорідні та стабільні емульсії отримували на алкилтриметиламоній хлориді та окислах алкілдіметіламінів фракції C_{17}-C_{20}, порівняно з алкилдиметилбензиламмонійхлоридом фракції C_{17}-C_{20} і ацетатах амінів фракції C_{17}-C_{20}. Крім того, як свідчать результати їхніх досліджень, із збільшенням довжини вуглецевого радикалу стабілізуюча здатність емульгаторів збільшувалась.

Щодо сучасних емульгаторів, то проведений аналіз літературних джерел показав обмеженість результатів щодо оцінки їх термодинамічних властивостей, зокрема поверхневої активності. Мало інформації також стосовно впливу термодинамічних характеристик сучасних емульгаторів на фізико-механічні властивості катіонних бітумних емульсій. Не існує чіткої методики за якою можна підібрати емульгатор для виготовлення бітумної емульсії з певними фізико-механічними властивостями.

Згідно з результатами досліджень А. Д. Джеймса, крім дисперсності та стабільності природа емульгатора впливає на в'язкість бітумних емульсій [132]. Вплив природи емульгатора на в'язкість пояснюється їхньою здатністю утворювати складні емульсії, типу вода/масло/вода, в яких в середині краплі бітуму знаходиться зв'язана вода, за рахунок якої збільшується об'єм дисперсної фази. Результати досліджень щодо впливу природи сучасних емульгаторів на в'язкість емульсій на основі вітчизняних окислених бітумів практично відсутні.

В свою чергу, в'язкість емульсії напряму пов'язана з однорідністю та стабільністю. Як свідчать результати досліджень А. Д. Джеймса, емульсії з низькою в'язкістю схильні до седиментації під час зберігання. Саме тому значення в'язкості емульсії нормується в більшості міжнародних стандартів. Серед чинників, які впливають на в'язкість, виділяють концентрацію бітуму. Як показують результати досліджень Г. Холлерана, при збільшенні концентрації бітуму в'язкість бітумних емульсій спочатку незначно збільшується, а потім, при досягненні переломного значення залежно від типу бітуму, відбувається різке зростання в'язкості [129, 130]. Дослідження щодо впливу концентрації вітчизняних окиснених бітумів на величину в'язкості емульсій на основі сучасних емульгаторів теж практично відсутні.

Важливою характеристикою бітумних емульсій є швидкість утворення плівки бітуму на поверхні мінеральних матеріалів. У процесі обробки емульсіями мінерального матеріалу на його поверхні утворюється плівка з емульгованого у воді бітуму, яка з часом перетворюється на бітумну плівку. Як показав огляд літератури, швидкість процесу плівкоутворення залежить від фізико-механічних властивостей мінеральної основи, її чистоти та вологості; природи і кількості емульгатора; температури емульсії та навколишнього середовища [2, 15, 20, 24, 35, 41, 53, 56, 135]. Чим вище температура, тим легше деформуються частинки бітуму і тим швидше відбувається аутогезія. При низькій температурі частинки бітуму мають меншу здатність утворювати плівку.

На основі аналізу літературних джерел [11, 63, 81, 101, 133] встановлено, що на сьогодні існує дві різні точки зору щодо механізму адсорбції емульгатора і бітуму з катіонних бітумних емульсій на поверхні мінеральних матеріалів.

Згідно з першою, розпад може відбуватися в результаті фізичної або фізико-хімічної адсорбції бітуму з емульгатором на поверхні мінеральних матеріалів з подальшим випаровуванням води. При цьому на швидкість розпаду буде впливати гранулометричний склад, генезис мінерального матеріалу та природа емульгатору.

Згідно з другою, механізм розпаду катіонних емульсій на поверхні мінеральних матеріалів відбувається в результаті хімічної реакції обміну, яка відбувається між емульгатором і складовими мінерального матеріалу [84]. При цьому механізми реакцій обміну, які протікають на активних центрах кислих та основних мінеральних матеріалів, відрізняються між собою. На поверхні кислих мінеральних матеріалів, згідно з теорією Г. Рамона [84], у присутності води відбувається іонізація кислих гірських порід, з утворенням $\mathrm{Si-O^-}$ та $\mathrm{H^+}$. До кислих, негативно заряджених центрів на поверхні мінеральних матеріалів притягуються позитивно заряджені емульгатори. На поверхні кварцу утворюються нові нерозчинні у воді комплексні з'єднання, що зв'язують через радикали бітум, а іони $\mathrm{Cl^-}$ і $\mathrm{H^+}$ залишаються в розчині:

$$\equiv \mathrm{Si-OH} \leftrightarrow \equiv \mathrm{Si-O^- + H^+}$$

$$\equiv \mathrm{Si-O^- + H^+ + [NH_3-R]^+ + Cl^- \rightarrow Si-O^-[NH_3-R]^+ + Cl^- + H^+} \qquad (1.1)$$

Згідно з приведеною вище схемою іонізації поверхні кислих мінеральних матеріалів, зменшення концентрації іонів водню приводить до утворення додаткової кількості комплексних з'єднань на поверхні мінерального матеріалу, тобто до збільшення швидкості взаємодії емульгатору з поверхнею. А підвищення концентрації іонів водню приводить до зменшення реакційної здатності кремнію по відношенню до амінів і підвищенню стійкості емульсії.

Основні мінеральні матеріали, які складаються переважно з кальцію, у воді дисоціюють з утворенням позитивно заряджених іонів Ca^{2+}. Таким чином поверхню вапняку можна розглядати як чергування іонів Ca^{2+} і CO_3^{2-}. При взаємодії з водою, згідно з теорією Ж. Вогта [84], до вільних позитивно заряджених іонів кальцію приєднуються негативно заряджені гідроксид іони. З'єднання, що утворюються на поверхні вапняку у водному середовищі можна представити у наступному вигляді:

$$[xCaCO_3; yCa(OH)_2; zCa^{2+}]^{2z+} \quad (1.2)$$

При нанесенні катіонних бітумних емульсій на поверхню позитивно заряджених кам'яних матеріалів першою стадією взаємодії є агресивна дія кислоти, яка знаходиться у водній фазі емульсії. В результаті цієї дії катіони кальцію переходять з поверхні мінералу в розчин, де утворюються солі кальцію, а поверхня мінералу покривається аніонами CO_3^{2-}, з якими позитивно заряджені катіони емульгатора активно взаємодіють з утворенням нерозчинних у воді карбокатіонів.

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} + 2[R - NH_3]^+ + 2Cl^- \rightarrow [R - NH_3]_2CO_3 \downarrow + Ca^{2+} + 2Cl^- \quad (1.3)$$

В цьому випадку катіонні емульгатори адсорбуються крізь гідратну оболонку, утворену на поверхні мінерального матеріалу молекулами води, і витісняють її. Завдяки тому, що в конкуренції за адсорбційні центри на поверхні мінерального матеріалу перемагають іонізовані молекули катіонного емульгатора, мінеральний матеріал, що контактує з водною фазою і органічним в'яжучим, обволікається переважно в'яжучим. У результаті утворюється менш міцна, порівняно з комплексними з'єднаннями на поверхні кварцу, подвійна сіль.

На швидкість розпаду на поверхні вапняку зміна pH не впливає, оскільки взаємодія з вапняком відбувається по типу іонного обміну, в якому водневі іони участі не приймають.

Таким чином змінюючи pH та блокуючи активні центри поверхні мінеральних матеріалів, або навпаки активуючи, можна впливати на швидкість розпаду. Для блокування активних центрів, згідно з дослідженнями М. І. Волкова, Л. О. Кирилової та М. І. Кучми, можна використовувати сильну кислоту або солі, продукти взаємодії яких з мінеральним матеріалом є малорозчинними з'єднаннями; розчини ПАР; емульсії, що виготовлені на рідких бітумах; розріджений бітум тощо [11, 63, 101].

Збільшення кількості емульгатора, згідно із наведеним вище механізмом розпаду, повинно збільшувати час розпаду, при цьому слід зауважити, що відповідно до досліджень Е. А. Казарновської, збільшення кількості емульгатора може приводити до збільшення водопоглинання і зниження температури крихкості бітуму, виділеного з емульсії [56]. Ці зміни можуть бути наслідком впливу двох чинників: збереження деякої кількості води в плівці, особливо в тих випадках, коли емульгатор є гідрофільною речовиною, і утворення в бітумній плівці додаткової структури з молекул емульгатора, якщо він погано поєднується з бітумом.

Згідно з дослідженнями А. Д. Джеймса та Г. Холлерана [129-132] на швидкість розпаду емульсій також впливають в'язкість вихідного бітуму та його концентрація. А саме: чим більше концентрація бітуму, тим швидше розпадається емульсія; утворення суцільної плівки з крапельок бітуму, що осідають на мінеральній поверхні, відбувається тим швидше, чим менш в'язким виявиться емульгований бітум. При цьому вплив в'язкості та концентрації вітчизняних окислених дорожніх бітумів на швидкість розпаду емульсій на сучасних емульгаторах в Україні є недостатньо дослідженим.

1.3 Вплив модифікації бітумних емульсій полімерами на властивості залишкового в'яжучого

Після аутогезії та повного випаровування води на поверхні мінеральних матеріалів утворюється плівка в'яжучого, яке складається з бітуму та

емульгатора. Суміш бітуму з емульгатором за своїми фізико-механічними властивостями подібна до суміші бітуму з катіонною поверхнево-активною речовиною (КПАР), яку вводять до складу бітуму для покращення його адгезійних властивостей. Згідно з дослідженнями багатьох вчених, при додаванні поверхнево-активних речовин в бітуми відбувається зміна їхніх термодинамічних і частково фізико-механічних властивостей [2, 35, 38, 41, 51, 62, 63, 80, 86, 90, 98 – 100, 113, 116]. Добавки КПАР покращують змочування бітумом поверхні мінеральних матеріалів, знижують поверхневий натяг на межі розділу в'яжуче-мінеральний матеріал, покращують зчеплення з поверхнею мінерального матеріалу, і незначно впливають на в'язкість, крихкість, розтяжність, температуру розм'якшеності, пенетрацію бітуму. Проте, вплив природи сучасних емульгаторів, їх концентрації та pH емульсії на властивості залишкового в'яжучого, що утворилося в результаті її розпаду, залишається недостатньо дослідженим.

Для виготовлення бітумних емульсій в основному використовують бітуми марок БНД 70/100 та БНД 100/150. Бітуми цих марок характеризуються невеликим інтервалом пластичності та низькою еластичністю. Для збільшення інтервалу пластичності (діапазону температур від температури крихкості до температури розм'якшеності) та надання в'яжучому еластичності до складу в'яжучого традиційно вводять полімери. Дослідженнями встановлено [7, 16, 21, 71, 85, 100, 111, 163], що введення полімеру призводить до зміни фізико-механічних властивостей бітуму, а саме збільшується температура розм'якшеності, зменшується пенетрація, з'являється еластичність. В узагальненому вигляді вплив добавок полімерів до дорожніх бітумів на зміну їхніх властивостей наведено на рисунку 1.3.

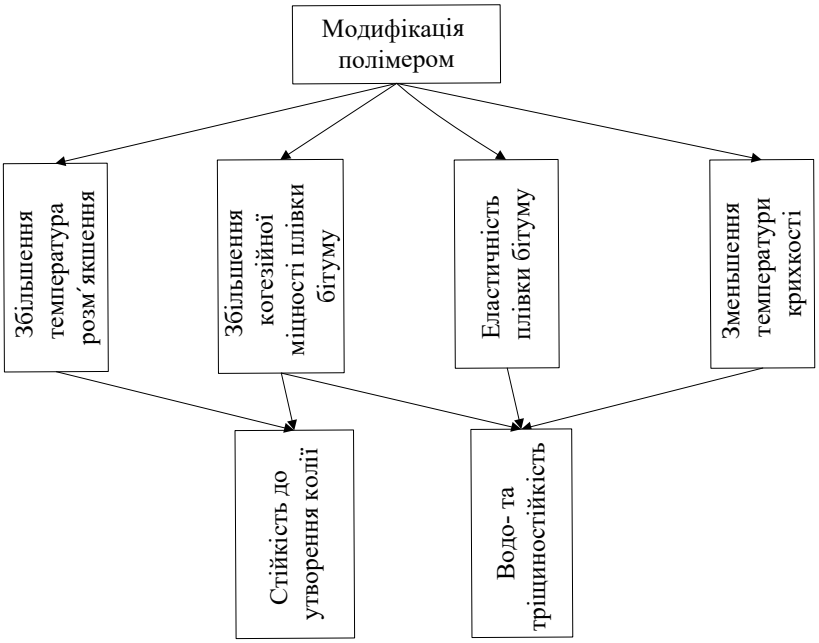
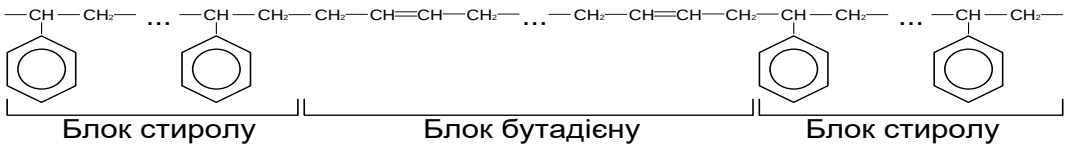


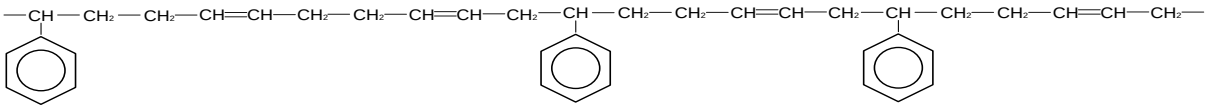
Рисунок 1.3 – Зміна властивостей бітуму внаслідок модифікації його полімером

Полімери відносяться до речовин з великою молекулярною масою, молекули яких складаються з великої кількості структурних одиниць-ланок, які повторюються. Якщо молекулярна маса полімеру перевищує десятки тисяч, то його відносять до високополімерів. В залежності від хімічного складу, будови, кількості та послідовності ланок ланцюга високополімери можуть володіти такими цінними якостями, як здатність пружно деформуватися під навантаженням, зберігати деформаційну здатність при низьких температурах, не розм’якшуватися і не втрачати міцності при підвищених температурах [66, 71].

Полімери, молекули яких складаються з однакових мономірних ланок, називаються гомополімерами (наприклад, полівінілхлорид), а з різних типів мономірних ланок – сополімери. Якщо мономірні ланки чергуються хаотично, то такий сополімер називається статистичним, а якщо довгі гомополімерні ланцюги – блоки, чергуються з блоками ланок іншого мономеру, то такі полімери називаються блочними сополімерами. Типовим прикладом статистичного сополімера є SBR, а блочного SBS, які складаються з хімічно зв’язаних мономерів полістиролу і полібутадієну (рис. 1.4) [66].



Блочний сополімер стірол-бутадієн-стиролу (SBS)



Статистичний сополімер стірол-бутадієну (SBR)

Рисунок 1.4 – Схема розташування стиролу та бутадієну в блочному та статистичному сополімерах [66]

Шляхом узагальнення результатів досліджень [71, 118, 120, 134, 138, 139, 145, 151] основні групи полімерів, що використовують для модифікації бітумів для приготування емульсій, наведено на рисунку 1.5.

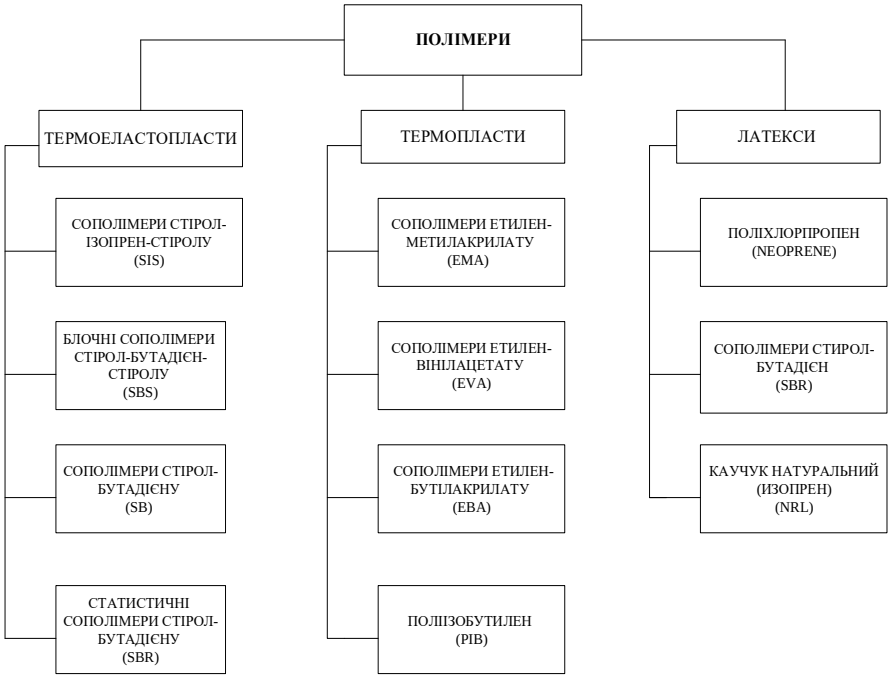


Рисунок 1.5 – Полімери, що використовують в дорожньому будівництві

Останнім часом більшим попитом для модифікації бітуму користуються полімери класу термоеластопластів SBS та SBR, які вперше були використані для модифікації бітуму співробітниками компанії SHELL в 1960-х роках [161].

Вміст стиролу в цих термопластичних полімерах складає 20-30 % від загальної маси полімеру. Блоки стиролу виконують в них роль підсилюючого наповнювача. Із підвищенням вмісту в полімері стиролу збільшується щільність, температура склування і діелектричні характеристики. [71].

Згідно аналізу результатів експериментальних досліджень, температура розм'якшеності бітуму модифікованого полімерами класу термоеластопластів майже лінійно залежить від розмірів стирольних блоків [21, 71, 163]. На температуру крихкості при згині на стрижні суттєво впливає концентрація полімеру та співвідношення між молекулярною масою стиролу та бутадієну.

Для модифікації емульсій перевагу надають латексам. Латекс представляє собою водну дисперсію полімеру у воді. Отримують латекси емульсійною полімеризацією у воді. Емульсійну полімеризацію проводять при високій (50 °С– «гаряча» полімеризація) і при низькій (5 °С – «холодна» полімеризація) температурі. Зниження температури полімеризації приводить до зменшення вмісту в полімері низькомолекулярних фракцій, зменшення ступеня розгалуженості і збільшення регулярності структури полімеру, що, в цілому, приводить до поліпшення якості полімеру [61]. Діаметр часток полімеру в дисперсії від 0,1 до 3 мкм. Коагулює полімер в наслідок випаровування води. Стабільність дисперсії у воді забезпечують поверхнево-активні речовини. В залежності від заряду іону ПАР розрізнюють аніонні та катіонні дисперсії полімеру у воді. Для модифікації аніонних емульсій використовують аніонні дисперсії полімерів, для модифікації катіонних емульсій – катіонні дисперсії. Різновиди латексів, які використовують для модифікації бітумних емульсій, наведені на рисунку 1.5.

В роботах [156-159] виконані порівняльні дослідження властивостей залишкового в'яжучого, що було виділене з модифікованих бітумних емульсій трьома різними полімерами: SBR полімером, SBS полімером та поліхлорпропеном, які були проведені під керівництвом К. Такамури. Його досліджування показали, що при концентрації полімеру 3 % від маси бітуму більше значення температури розм'якшеності були властиві в'яжучому,

виділеному з емульсій модифікованих SBR полімером, а потім відповідно з емульсій модифікованих SBS та поліхлорпропеном.

Згідно з результатами дослідження утримуючої здатності плівки в'яжучого за методом Віаліт, який було проведено Управлінням доріг в штаті Орегон (США), краща утримуюча здатність властива емульсіям модифікованим SBR (як при введенні полімеру в бітум, так і при модифікації готової емульсії), SBS та EVA полімерами, порівняно з утримуючою здатністю емульсій модифікованих поліхлорпропеном. Показник еластичності при скручуванні для в'яжучого, яке виділено з емульсії модифікованої SBS, складає 20 %, з емульсії модифікованої поліхлорпропеном – 16,2 %, SBR – 10 %, EVA – 9,4 % [150]. Аналіз результатів оцінки втрат при стиранні водонасичених зразків (Wet Track Abraison test, WTAT) показує, що за збільшенням втрат при стиранні емульсії розташувалися наступним чином: емульсія модифікована SBR, SBS, поліхлорпропіленом, природним латексом, EVA [157]. По збільшенню поглинання піску (%) та глибини колії (Loaded Wheel Test, LWT) емульсії розташувались наступним чином: модифікована SBR, природним латексом, SBS, EVA, поліхлорпропіленом [150].

Щодо структури, яку утворює полімер в залишковому в'яжучому, то на основі проведених досліджень К. Такамура робить припущення, що полімер утворює сотоподібну сітку навколо крапель бітуму [159]. На рисунку 1.6 приведені фотографії зразків залишкового в'яжучого з 3 % Butonal NS 198, які були отримані за допомогою електронного мікроскопу. На рисунку 1.6 (а), де представлені зразки в'яжучого, отриманого в лабораторних умовах внаслідок випаровування води з модифікованої емульсії при нормальній температурі, чітко видно краплі бітуму, які оточені сіткою латексу. На рисунку 1.6 (б), де представлені зразки в'яжучого, отриманого екстракцією метилетилкетоном в присутності тетраокису осмію із вирубок, які були взяти з асфальтобетонного покриття на основі модифікованої емульсії, також можна спостерігати сітку латексу навколо крапель бітуму. Термін служби покриття на момент взяття вирубок становив 3 роки [145].

а) б)

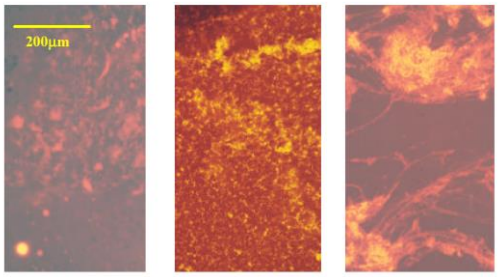
Рисунок 1.6 – Фотографії зразків в’яжучого, які отримані за допомогою скануючого електронного мікроскопу [145]

Згідно з результатами досліджень багатьох закордонних вчених [151, 156-159] збільшення концентрації полімеру спричиняє збільшення в’язкості при підвищених експлуатаційних температурах та інтервалу пластичності, а також зменшення температурної чутливості комплексного модуля пружності.

Європейські та американські вчені використовують для характеристики температурної чутливості в’яжучого температуру переходу до в’язкого стану. Відповідно до вимог системи SHRP Superpave (США) [155] до бітумо-полімерного в’яжучого критичною температурою, при якій асфальтобетон зберігає стійкість до колієутворення, є температура при якій відношення комплексного модуля пружності до кута зміщення фаз дорівнює $G^*/sin\sigma$ =1,1 кПа. За результатами досліджень [156-159] для в’яжучого, яке виділено зі звичайної емульсії, температура при якій $G^*/sin\sigma$ =1,1 кПа дорівнювала 58 °С, а для в’яжучого, яке було виділено з емульсій з концентрацією полімеру від маси бітуму 3 %, 5 % та 10 % – відповідно 65 °С, 69 °С, та 88 °С.

Опираючись на результати дослідження американських вчених [119] необхідно відмітити, що в залежності від способу виділення в’яжучого із модифікованих бітумних емульсій в лабораторних умовах його фізико-механічні властивості можуть відрізнятися. В різних країнах прийняті різні лабораторні методи отримання в’яжучого: дистиляція різними розчинниками, випаровування води в сушильній шафі при різних температурних режимах, випаровування води при звичайній температурі при обдуванні вентилятором та інші.

В дослідженнях [158] встановлено, що при високій температурі та тривалому часі термостатування спостерігається руйнування сітки латексу та утворення глобул (рис. 1.7).



а) б) в)

Рисунок 1.7 – Фотографії зразків емульсії отриманих після термостатування за температури 177 °С [158]

Так при витримуванні при 177 °С протягом 30 хв. – випаровується 30 % води (рис. 1.7 (а)), протягом 2 годин – випаровується 90 % води (рис. 1.7 (б)), протягом 3 годин – випаровується 100 % води (рис. 1.7 (в)). Проте, як можна бачити на фотографіях, витримування при високій температурі приводить до руйнування сітки латексу. Для запобігання руйнування сітки латексу в роботі [121] рекомендує дотримуватися наступної методики видалення води із бітумної емульсії: випаровування протягом 30 хв. при температурі 118 °С, після цього перемішування і витримування 1,5 години при температурі 138 °С, повторне випаровування протягом 1 години при 138 °С.

Аналізуючи результати узагальнення інформації з літературних джерел щодо існуючих досліджень впливу різних факторів та добавок водного катіонного латексу на властивості катіонних бітумних емульсій (таблиця 1.1), можна стверджувати, що комплексні дослідження впливу латексу та його концентрації на термодинамічні властивості та фізико-механічні властивості емульсій на основі окиснених дорожніх бітумів потребують подальших досліджень.

Таблиця 1.1 – Фактори які впливають на фізико-механічні властивості бітумних емульсій та залишкового в'яжучого

Фізико-механічні властивості	Фактори																						
	Фізико-механічні властивості вихідних матеріалів										Концентрації вихідних матеріалів у складі емульсії						Технологічні аспекти виготовлення			Технологічні аспекти застосування			
	Бітум		Домішки																				
	В'язкість	Хімічний склад	Адгезійні	Для регулювання в'язкості	Для регулювання швидкості розпаду	Для регулювання стійкості при зберіганні	Вид розріджувача	Вид та концентрація кислоти	***Хімічна природа емульгатора***	Вид полімеру	Бітум	***Емульгатор***	***Кислота***	Домішки	Розріджувач	***Полімер***	Технічні параметри устаткування	Технологічні параметри процесу емульгування	Спосіб введення полімера	Температура емульсії при застосуванні	Стан покриття	Умови навколишнього середовища	Природа та дисперсність мінеральних матеріалів
В'язкість емульсії	+	+		+			+	+	**+**	?	**?**	**?**	**?**	+/-		**?**	+	+	+	?			
Стійкість емульсії при зберіганні	+	+	+		+	+	+		**?**	+		**?**	**+**	+/-	**+**	**?**	+	**+**	+				
Швидкість розпаду емульсії			+		+				**?**	?	**?**	**?**	**?**	+/-		**?**				?	+	+	?
Адгезія залишкового в'яжучого до поверхні мінеральних матеріалів		+	+		+		+	+	**?**	?		**?**	**?**	+/-	**+**	**?**					+		+
Еластичність залишкового в'яжучого		+							**?**	+		**?**			**+**	**?**			+				
Інтервал пластичності залишкового в'яжучого		+					+		**?**	+		**?**	**?**			**?**			+				

Примітка. Знаком питання у таблиці виділені чинники, влив яких за результатами аналізу літературних джерел досліджено недостатньо.

Також відсутні дослідження вплив катіонних латексів та їхньої концентрації на властивості окиснених бітумів, виділених з емульсій.

Відсутніми є дослідження впливу модифікації латексом емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки на водостійкість, теплостійкість, еластичність та утримуючу здатність мінеральних зерен щебеню залишковим в'яжучим за різних температур.

1.4 Способи приготування модифікованих дорожніх бітумних емульсій

За результатами проведеного аналізу літературних джерел [134, 145, 147, 148, 151] встановлено застосування трьох основних способів введення до складу катіонних бітумних емульсій полімерних добавок: попереднє змішування бітуму з полімером до його емульгування; введення водного катіонного латексу під час емульгування в водну фазу або як окремий складник; диспергування латексу в готовій бітумній емульсії. У кожного з цих способів є свої переваги та недоліки.

Для введення полімеру в вихідний бітум необхідна наявність спеціальних змішувачів, для забезпечення попереднього ефективного змішування бітуму з полімером. Полімери можливо використовувати у розсипчастому стані – у вигляді гранул, порошку, або у рідкому стані – у вигляді латексу.

Додавання водного латексу у бітум проводять поступово, використовуючи, при необхідності, піногасники для запобігання спінювання в'яжучого та виділення газоподібних речовин, що може призвести до поломки змішувача. Температура нагрівання модифікованого бітуму повинна підтримуватись на рівні від 160 ℃ до 180 ℃ для забезпечення в'язкості необхідної для емульгування. Температура водної фази, в залежності від розчинності емульгатору у воді, може змінюватися від 40 ℃ до 80 ℃. Зважаючи на те, що сумарна температура не повинна бути вище 200 ℃, емульгування необхідно проводити під тиском та встановлювати на лінії транспортування готової емульсії систему охолодження.

Крім того емульсії на основі модифікованого бітуму мають широку дисперсійну криву, яка характеризується меншим середнім діаметром крапель [120, 121, 134, 154, 159]. Внаслідок цього емульсії модифіковані в такий спосіб мають меншу в’язкість і більшу імовірність коагулювання при зберіганні.

Додавання водного розчину латексу під час емульгування можна виконувати: змішуванням з водою, введенням в змішувач для водної фази та подачею в змішувач як самостійного складника. В усіх цих випадках забезпечується якісне змішування латексу та складових бітумної емульсії.

Недоліком цього способу введення є необхідність в додаткових дозуючих пристроях для подачі латексу та регулярному очищенні лінії подачі латексу для запобігання його коагуляції в трубах.

Третій спосіб отримання модифікованої емульсії полягає у введенні водного катіонного латексу безпосередньо в готову теплу чи холодну бітумну емульсію шляхом простого змішування латексу і емульсії до отримання однорідної модифікованої бітумної емульсії з необхідним вмістом полімеру.

До переваг цієї технології можна віднести: можливість виготовляти модифіковану емульсію в необхідних об’ємах безпосередньо перед застосуванням.

Вочевидь при використанні другого та третього способів введення полімеру до складу емульсії необхідно враховувати, що з латексом до її складу потрапляє додаткова вода, що призводить до зниження в’язкості готової емульсії і зміни рецептури. У зв’язку з цим необхідно, для компенсації ефекту розрідження, корегувати рецепт (можливо змінювати вміст бітуму, емульгатора, кислоти).

Виходячи з вище наведеного аналізу літературних джерел щодо способів модифікації емульсій полімерами можна стверджувати, що найбільш простим та дешевим є спосіб введення полімеру в готову катіонну бітумну емульсію у вигляді водного катіонного латексу.

1.5 Висновки по розділу. Мета і задачі дослідження

Узагальнення результатів аналізу літературних джерел щодо напрямків використання бітумних емульсій в дорожньому будівництві, впливу складників бітумних дорожніх емульсій на процеси структуроутворення, способів регулювання властивостей емульсій, а також способів приготування модифікованих дорожніх бітумних емульсій та впливу модифікації бітумних емульсій полімерами на властивості залишкового в'яжучого дозволяє зробити наступні висновки:

1. Бітумні емульсії використовують в дорожній галузі під час будування та ремонтування дорожнього одягу. Для різних технологій ремонтування та будування доріг виготовляють емульсії з певними фізико-механічними властивостями: в'язкістю, однорідністю, стійкістю при транспортуванні та зберіганні, швидкістю розпаду. Можливість застосування бітумних дорожніх емульсій в холодному стані спільно з вологими мінеральними матеріалами та холодною поверхнею існуючого шару покриття свідчить про економічну та екологічну привабливість таких технологій. Особливо це важливо під час зростання вартості енергоносіїв для влаштування за технологією поверхневої обробки тонких захисних шарів, що сукупно забезпечують захист поверхні існуючого шару покриття від зносу, його гідроізоляцію і збільшення коефіцієнта зчеплення колеса з ним.

2. Основними традиційними складниками катіонних бітумних дорожніх емульсій є бітум, вода, емульгатор та кислота. Бітум є головним складником емульсії. Моніторингом якості дорожніх бітумів, що виробляються і використовуються в дорожній галузі, встановлено їх належність до окиснених бітумів III структурного типу. На сьогодні такі бітуми є недостатньо вивченими щодо їх придатності для приготування дорожніх бітумних емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки. Більшість результатів закордонних досліджень вказують на доцільність використання дистиляційних а не окиснених бітумів для емульгування, оскільки

на них можна отримати більш стабільні та однорідні катіонні бітумні дорожні емульсії, у тому числі для технології поверхневої обробки.

3. Емульгатор, як складник бітумної дорожньої емульсії, полегшує диспергування бітуму у водній фазі, знижуючи поверхневий натяг на границі розділу бітум-вода, та запобігає коалесценції бітумних крапель, забезпечуючи їхню агрегативну стійкість у водній фазі. Функціональна дія катіоноактивного емульгатора забезпечується його взаємодією з кислотою. Експериментально багатьма дослідниками підтверджено, що дисперсність катіонної бітумної емульсії значною мірою залежить від природи і концентрації використаного емульгатора. Дисперсність емульсій впливає на інші важливі характеристики: в'язкість, однорідність, стійкість під час зберігання та транспортування, швидкість розпаду, товщину плівки, яку емульсія утворює на поверхні мінеральних матеріалів.

4. Виконаний аналіз літературних джерел показав обмеженість даних щодо оцінки термодинамічних властивостей сучасних емульгаторів, зокрема їхньої поверхневої активності по відношенню до води та водних розчинів кислоти. Недостатніми також є комплексні дослідження стосовно впливу термодинамічних характеристик сучасних емульгаторів на фізико-механічні властивості катіонних бітумних емульсій. На сьогодні не існує чітких рекомендацій за якими можна підібрати вміст емульгатора для виготовлення бітумної емульсії з певними фізико-механічними властивостями. Результати досліджень щодо впливу природи сучасних емульгаторів на в'язкість дорожніх емульсій на основі вітчизняних окислених бітумів також практично відсутні.

5. На основі аналізу існуючої інформації щодо результатів досліджень впливу різних чинників та добавок на властивості катіонних бітумних емульсій, можна стверджувати, що вплив латексу та його концентрації на термодинамічні властивості та фізико-механічні властивості емульсій на основі окиснених дорожніх бітумів потребують комплексних поглиблених досліджень. Також потрібне проведення комплексних досліджень впливу концентрації емульгаторів, pH емульсії, вмісту катіонного латекса на властивості залишкового

окисненого бітуму, утвореного з емульсій. Відсутніми є дослідження впливу модифікації катіонним латексом бітумних дорожніх емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки на водостійкість бітумних плівок, теплостійкість, еластичність та утримуючу здатність залишкового в'яжучого мінеральних зерен щебеню за різних температур та кількості циклів замерзання-відтавання.

6. За результатами аналізу літературних джерел виділено три основних способи введення полімерних добавок до складу катіонних бітумних емульсій: попереднє змішування бітуму з полімером до його емульгування; введення водного катіонного латексу під час емульгування гарячого бітуму в водну фазу або як окремий складник; диспергування латексу в готовій бітумній емульсії. Третій спосіб введення водного катіонного латексу безпосередньо в готову теплу чи холодну бітумну емульсію шляхом простого їхнього змішування дозволяє виготовляти модифіковану емульсію в необхідному для використання об'ємі із потрібною концентрацією латексу безпосередньо перед застосуванням.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає в підвищенні теплостійкості та водостійкості бітумного в'яжучого модифікацією емульсій водним катіонним латексом для збільшення довговічності поверхневих обробок.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети вирішували наступні задачі:

1. Виконати аналіз існуючих даних щодо впливу складників на властивості бітумних емульсій та залишкового бітумного в'яжучого, розглянути існуючі способи модифікації бітумних емульсій полімерами.

2. Теоретично обґрунтувати процеси структуроутворення та механізм розпаду модифікованих емульсій на поверхні мінеральних матеріалів та експериментально підтвердити особливості впливу на них індивідуальних складників.

3. Комплексно дослідити вплив вмісту емульгаторів та кислоти на термодинамічні характеристики водних фаз та показники фізико-механічних властивостей емульсій на основі окиснених нафтових бітумів.

4. Провести комплексні експериментальні дослідження впливу водного катіонного латексу на фізико-механічні властивості емульсій та залишкового бітумного в’яжучого.

5. Дослідити вплив вмісту водного катіонного латексу, як складника катіонних бітумних емульсій, на теплостійкість, водостійкість, еластичність та показник утримуючої здатності зерен щебеню бітумним в’яжучим. Визначити температурні залежності показника утримуючої здатності зерен щебеню бітумним в’яжучим та вплив на нього циклічного заморожування-відтавання.

6. Розробити рекомендації щодо технології модифікації дорожніх бітумних емульсій водним латексом та виконати впровадження отриманих результатів у виробничих умовах.

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вплив складу модифікованих бітумних дорожніх емульсій на процеси структуроутворення та властивості залишкового в'яжучого

Робоча гіпотеза в узагальненому вигляді полягає у тому, що підвищеної довговічності тонких шорстких захисних шарів дорожнього одягу, влаштованих за технологією поверхневої обробки, можна досягти шляхом застосування катіонних бітумних дорожніх емульсій, модифікованих водним катіонним латексом, які після розпаду формують структуру залишкового в'яжучого з властивими йому еластичністю, підвищеною водостійкістю, теплостійкістю та утримуючою здатністю зерен щебеню в експлуатаційному діапазоні температур.

В основу робочої гіпотези були покладені наступні вихідні положення.

Класичними складниками катіонних бітумних дорожніх емульсій є нафтовий бітум, вода, емульгатор, кислота (додатково можна вводити інші різні домішки). До складу модифікованих бітумних дорожніх емульсій традиційно додають полімери класу термоеластопластів типу SBS або SBR.

Оскільки водні катіонні латекси мають структуру подібну, з точки зору колоїдної хімії, до катіонних бітумних дорожніх емульсій, їх застосування для отримання модифікованих емульсій є превалюючим. Стабільність в обох системах забезпечується насиченими або близькими до насичення адсорбційними шарами орієнтованих молекул поверхнево активних речовин - емульгаторів та за рахунок подвійного електричного шару навколо кожної бітумної або латексної частинки (ядра міцели). Збільшення концентрації емульгатора викликає збільшення густини і міцності адсорбційних шарів навколо часток бітуму та латексу. Очевидно, що зростання концентрації емульгатора в дисперсійному середовищі сприяє підвищенню стабільності і однорідності як бітумної так і латексної емульсій. Зовнішній шар міцели

утворюють іони хлору, або при застосуванні іншої кислоти відповідні іони кислотного залишку. В латексі це можуть буди гідроксид іони [1, 13, 60].

При введенні водного катіонного латексу до готової емульсії відбувається розподіл міцел бітуму та латексу, які мають однойменні заряди, в об'ємі водної фази. Водні фази обох систем, маючи однакову природу і не маючи зарядів, легко об'єднуються, в свою чергу міцели бітуму і латексу, які мають однойменні заряди – відштовхуються одна від одної і рівномірно розподіляються в об'ємі водної фази. Структуру катіонної бітумної емульсії, модифікованої водним катіонним латексом, схематично представлено на рисунку 2.1.

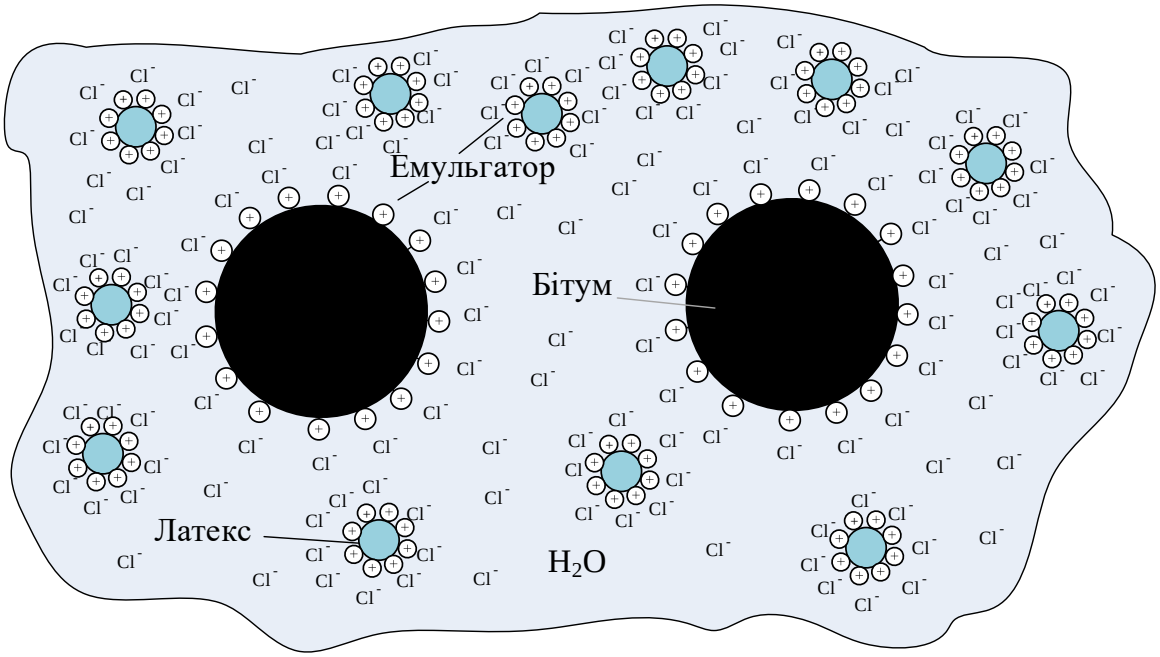


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення структури бітумної емульсії модифікованої катіонним латексом

Додавання до емульсії водного катіонного латексу призводить до надходження у склад композиційного матеріалу додаткової кількості молекул ПАР. В результаті в системі може зменшитись поверхневий натяг та крайовий кут змочування. Щодо фізико-механічних властивостей можливе збільшення показника однорідності та погіршення стійкості при зберіганні та транспортуванні. Це пов'язано з тим, що під час довгострокового зберігання або

транспортування можливе розшаровування модифікованої катіонної бітумної емульсії за рахунок того, що краплі бітуму та латексу мають різні розміри і, відповідно, масу. В верхній частині ємності для зберігання емульсії може збільшуватися концентрація латексу відносно маси бітуму. Візуально результат цього процесу спостерігається у вигляді білої плівки на поверхні модифікованої латексом емульсії. Для запобігання цьому необхідно забезпечувати періодичне перемішування модифікованої бітумної емульсії. Для запобігання руйнування міцел латексу та бітуму та їх коагуляції слід уникати великих зсувних швидкостей під час перемішування модифікованої бітумної емульсії.

Величина адгезії і ступінь змочування поверхні мінеральних матеріалів рідиною залежить насамперед від крайового кута змочування та площі контакту краплі з поверхнею, які в свою чергу визначаються формою краплі. В той же час, крайовий кут змочування, який утворює рідина на поверхні мінеральних матеріалів, залежить від часу, що минув після контакту краплі з поверхнею, розміру краплі, в'язкості рідини та її поверхневого натягу [48]. При цьому чим менше значення поверхневого натягу, тим менше крайовий кут змочування, який утворює рідина на поверхні.

Багатьма дослідниками встановлено [35, 40, 53, 57, 59, 90, 92], що на гладкій поверхні крапля рідини симетрична відносно своєї осі і крайовий кут змочування по всьому периметрі краплі однаковий, а площа контакту представляє собою коло радіусом r. На шорсткій поверхні проекція краплі буде мати неправильну форму. Кут нахилу сферичної частини краплі відносно поверхні твердого тіла, який визначають у точці В (рис. 2.2), називають крайовим кутом змочування на шорсткій поверхні. Він не завжди дорівнює дійсному крайовому куту змочування. Значення дійсного кута змочування залежить від чистоти поверхні і часу змочування. Затримка встановлення кута змочування в наслідок шорсткості поверхні називають гістерезисом змочування.

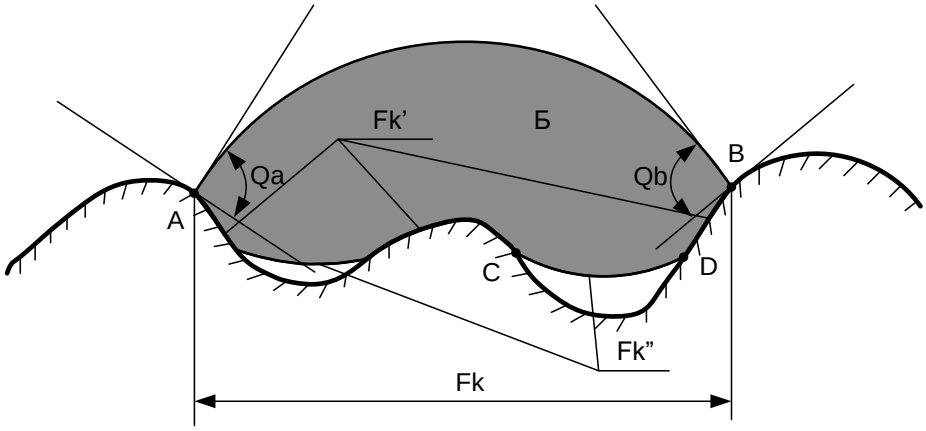


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення процесу розтікання краплі бітуму на шорсткій поверхні

При цьому площа контакту краплі рідини однакової маси на шорсткій поверхні буде більшою в порівнянні з площею контакту на гладкій поверхні.

Позначимо площу контакту краплі рідини на шорсткій поверхні через F_k', а площу контакту краплі на гладкій поверхні через F_k. Збільшення площі контакту краплі на шорсткій поверхні, порівняно з гладкою, визначимо за допомогою коефіцієнта шорсткості $К_ш$, що дорівнює:

$$К_ш = \frac{F_k'}{F_k} \tag{2.1}$$

Формулу 2.1 можна використовувати для визначення коефіцієнта шорсткості у тому випадку, коли рідина цілком заповнює поверхневі западини на шорсткій поверхні. У випадку змочування поверхні бітумом заповнення западин відбувається лише частково. Бітум зупиниться, наприклад, на лінії CD (рис. 2.2). Тоді під лінією CD буде знаходитися повітря, а вище цієї лінії – рідина.

Площу під краплею, де знаходиться повітря позначимо через F_k''. Тоді частину западин на шорсткій поверхні, не зайнятою рідиною, стосовно площі контакту на гладкій поверхні, можна представити у вигляді:

$$S = \frac{F_k''}{F_k}, \tag{2.2}$$

За допомогою коефіцієнта S виражається кількісно неповне змочування і заповнення западин на шорстких поверхнях.

Низька в'язкість бітумних та модифікованих бітумних емульсій та наявність у їх складі молекул ПАР повинна забезпечувати менші значення крайового кута змочування при невисоких температурах, порівняно із звичайними дорожніми бітумами, а особливо на шорсткій поверхні мінеральних матеріалів.

При використанні модифікованих бітумних емульсій можна досягти повного змочування, тим самим наблизити значення коефіцієнта S до 1 (рис. 2.3).

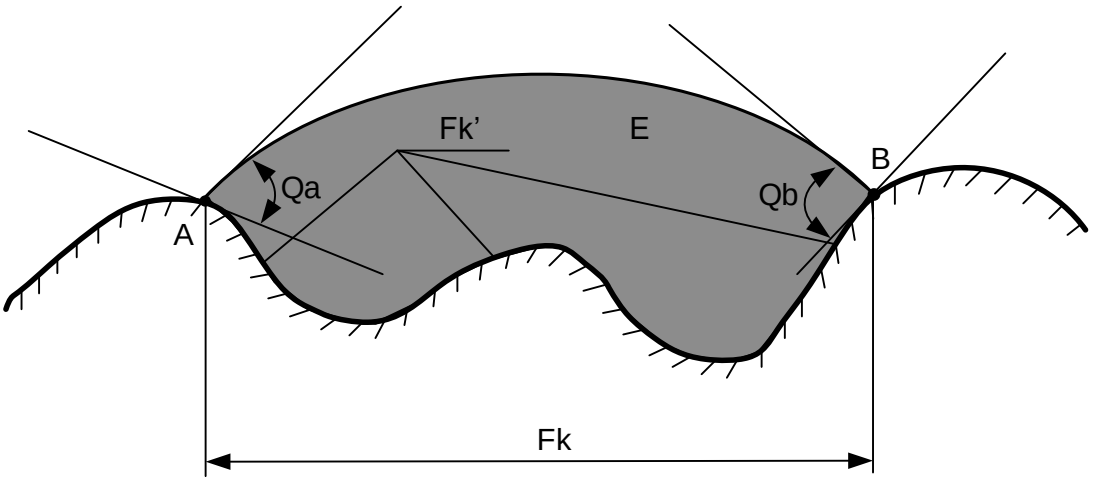


Рисунок 2.3 – Схематичне зображення процесу розтікання краплі емульсії на шорсткій поверхні

Завершальним етапом процесу розподілення та змочування поверхні покриття модифікованою катіонною бітумною емульсією в технології поверхневої обробки, є розпад емульсії. З урахуванням структурних особливостей модифікованих водним латексом бітумних дорожніх емульсій можливо виділити наступні основні стадії їх розпаду на поверхні мінеральних матеріалів (рис. 2.4).

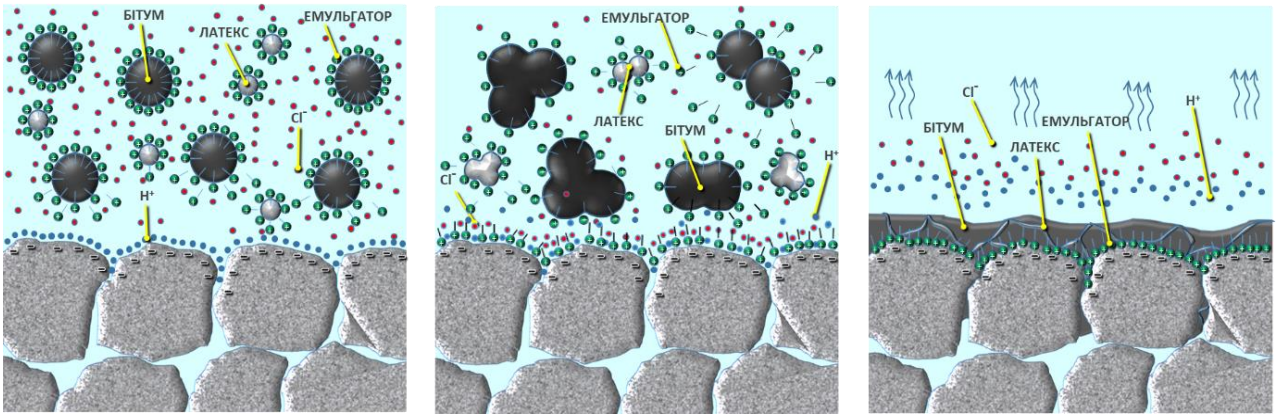


Рисунок 2.4 – Схематичне зображення основних стадій процесу розпаду бітумної емульсії, модифікованої водним катіонним латексом на поверхні мінерального матеріалу

В першу чергу на поверхні кислих мінеральних матеріалів адсорбуються вода та іони гідрогену, які знаходяться в водній фазі емульсії. Паралельно відбувається поступова адсорбція молекул емульгаторів, спочатку вільних, потім молекул емульгаторів латексу та бітумної емульсії.

Наступним етапом є утворення зв'язку між активними центрами мінерального матеріалу та кислотою з емульгатором за рахунок електростатичного орієнтаційного тяжіння негативно зарядженої поверхні та позитивно заряджених полярних груп молекул емульгатора. Внаслідок адсорбції молекул емульгатора поступово відбувається гідрофобізація поверхні вуглецевими «хвостами» молекул емульгатора.

Одночасно, внаслідок взаємодії кислоти з поверхнею мінеральних матеріалів, відбувається падіння кислотності розчину. У нейтральному середовищі катіоноактивні емульгатори втрачають здатність розчинятися, що приводить до їх повної адсорбції на поверхні мінеральних матеріалів.

На наступному етапі внаслідок адсорбції молекул емульгатора та падіння кислотності краплі, як бітуму, так і латексу, втрачають свої захисні оболонки і спочатку зливаються, а потім осідають на гідрофобізовану поверхню мінеральних матеріалів. Після втрати захисного шару з молекул емульгатора краплі полімеру зливаються і в результаті гідрофобного тяжіння утворюють

стільникову структуру навколо крапель бітуму. Утворюється змішаний коагулянт, що осідає на поверхню мінеральних частинок (рис. 2.5).

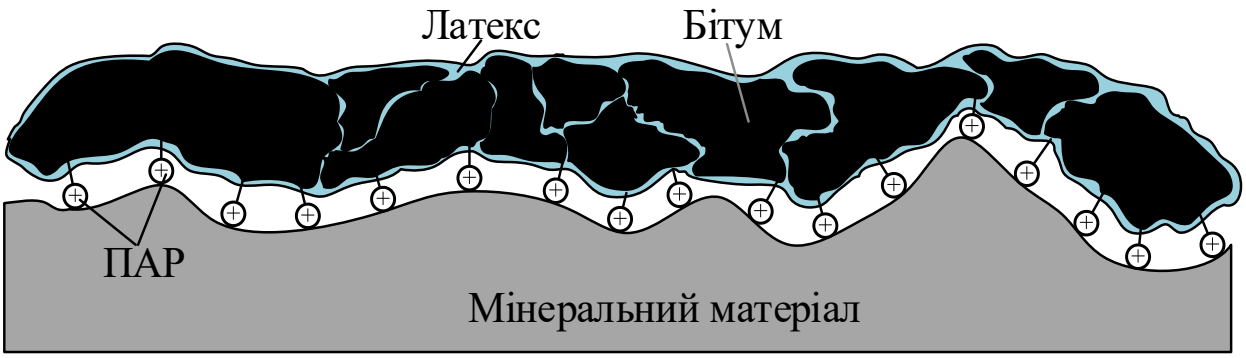


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення останньої стадії розпаду бітумної емульсії, модифікованої водним катіонним латексом

Невелика частина води з модифікованої бітумної емульсії адсорбується поверхнею мінеральних матеріалів, інша вода поступово витискується бітумом з емульгатором та випаровується.

З часом взаємодія полімеру з бітумом проходить за тим самим механізмом, як і в фізичних розчинах бітумів і полімерів. А саме, відбувається процес набухання латексу в низькомолекулярній (мальтеновій) фракції бітуму за наступним механізмом. При взаємодії бітуму з полімерами класу термоеластопластів, яким є обраний водний катіонний латекс Butonal NS 198, бутадієнові блоки за рахунок подвійного зв'язку адсорбують частину низькомолекулярної фракції, а полістирольні блоки виконують функцію осередків фізичного зв'язку.

Поступово в наслідок взаємної дифузії бітуму та полімеру зникає межа між двома контактуючими матеріалами, і окремі макромолекули цих складників виявляються як би зшитими. Міцність зшивки буде залежати від глибини дифузії.

Виходячи з запропонованого механізму розпаду можна відзначити, що розпад катіоноактивної емульсії на мінеральному матеріалі залежить від швидкості зменшення концентрації кислоти в дисперсійному середовищі та

швидкості адсорбції молекул емульгатора. При цьому, спираючись на проведений аналіз літератури стосовно впливу природи емульгатора на швидкість розпаду емульсій, можна констатувати, що для емульсій на емульгаторах меншої молекулярної ваги та більш простої молекулярної будови буде характерний більш швидкий процес адсорбції та формування плівки бітуму. Дифузія об'ємних катіонів четвертинних амонієвих з'єднань до активних центрів мінерального матеріалу буде протікати поволі. Поліаміни, створюючи складну просторову структуру захисної оболонку на частках бітуму, теж досить повільно десорбуються з поверхні часток бітуму при контакті з мінеральним матеріалом.

Отже, для приготування швидкорозпадних дорожніх катіонних бітумних емульсій доцільно застосовувати алкіламіни, алкілдіаміни, аміноефіри, амідоаміни, імідазоліни. Для приготування катіонних емульсій зі сповільненим розпадом – четвертинні амонієві з'єднання, які при переводі в сольову форму, утворюють полізарядні молекули з розгалуженою гідрофільною частиною, і поліаміни.

При додаванні водного латексу до готової катіонної бітумної емульсії незначно збільшується кількість води та емульгатора, що також впливатиме на швидкість розпаду.

Крім того природа емульгаторів, природа латексу, їх сумісність теж будуть впливати на швидкість утворення плівки в'яжучого. При застосуванні двох різних ПАР показники їх поверхневих властивостей можуть збільшуватися (синергізм), або частково нейтралізуватися один одним (антагонізм), що може привести як до збільшення так і до зменшення швидкості розпаду.

Залишковому в'яжучому за рахунок утворення стільникової структури полімеру навколо бітуму буде властива еластичність та більша температура розм'якшеності, порівняно з вихідним бітумом.

За рахунок наявності катіоноактивних емульгаторів в латексі та в емульсії, залишковому в'яжучому будуть властиві кращі адгезійні властивості ніж вихідному бітуму, що позитивно позначиться на довговічності тонких шорстких захисних шарів, влаштованих за технологією поверхневої обробки.

Тонкий захисний шар, влаштований за технологією поверхневої обробки, складається з плівки органічного в'яжучого яка утримує зерна щебеню на поверхні дорожнього одягу, тому його довговічність залежить в першу чергу від вірно підібраних за кількістю та якістю матеріалів.

До в'яжучого матеріалу висуваються наступні вимоги: міцна фіксація щебеню на поверхні покриття, забезпечення герметичності влаштованого шару покриття, тепло та водостійкість в’яжучого на поверхні мінерального матеріалу.

Довговічність такого шару, влаштованого за технологією поверхневої обробки, залежить від міцності зчеплення в’яжучого з основою та мінеральним матеріалом; когезійної міцності плівки органічного в’яжучого; та механічної міцності (заклинка, міцність мінерального матеріалу) (рис. 2.6 – 2.7).

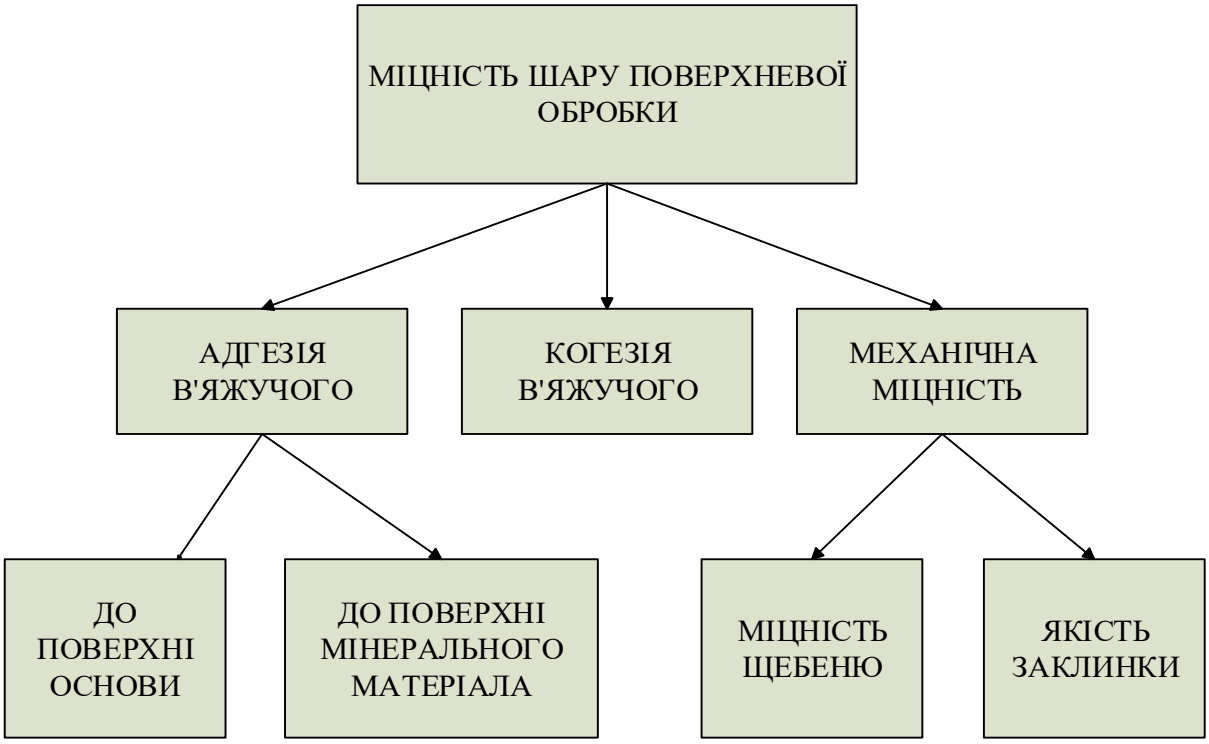


Рисунок 2.6 – Фактори що впливають на формування довговічності шару поверхневої обробки

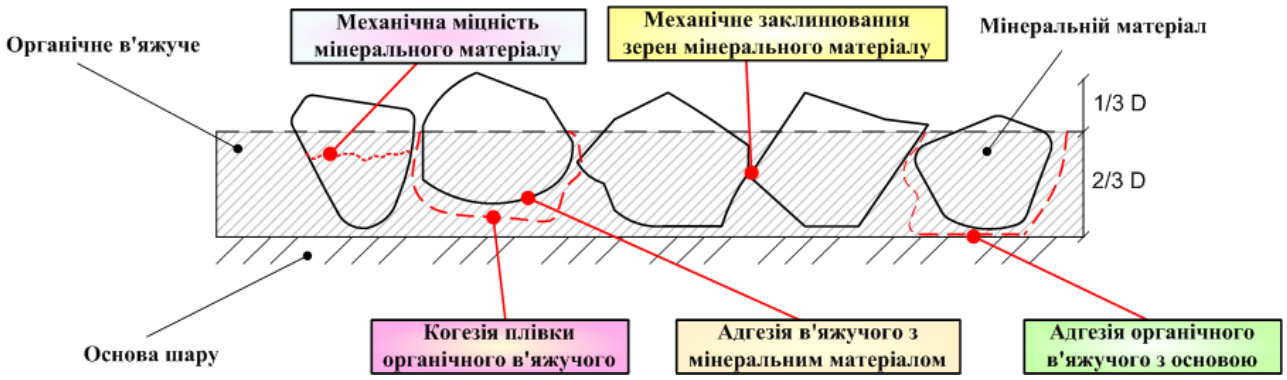


Рисунок 2.7 – Формування утримуючої здатності шару влаштованого за технологією поверхневої обробки

Для забезпечення адгезійної та когезійної міцності до складу бітумної емульсії необхідно вводити адгезійні добавки та полімери. Модифікована водним латексом бітумна емульсія відповідає цим вимогам. В ній є емульгатор, який забезпечує адгезію в'яжучого, а полімер забезпечує його когезійну міцність та теплостійкість в експлуатаційному діапазоні температур.

2.2 Програма експериментальних досліджень

Для підтвердження сформульованих теоретичних передумов та експериментальної перевірки впливу водного катіонного латексу на процеси структуроутворення катіонних бітумних емульсій, механізм їх розпаду на поверхні мінерального матеріалу, фізико-механічні властивості емульсій та залишкового в'яжучого, розроблена наступна програма досліджень:

1. Обґрунтувати об'єкти та методи досліджень, які найбільшою мірою відображають умови роботи тонких захисних шарів дорожнього одягу, влаштованих з використанням бітумних емульсій.

2. Дослідити вплив природи емульгатора, вмісту емульгатора та кислоти на поверхневі властивості водних фазах та бітумних емульсіях на їх основі, а саме на поверхневий натяг, крайовий кут змочування, роботу сил змочування та роботу сил адгезії. Дослідити вплив водного катіонного латекса на поверхневі

властивості бітумних емульсій. Дослідити як змінюються поверхневі властивості в водних фазах, бітумних емульсіях та модифікованих бітумних емульсіях з однаковим вмістом емульгатора та кислоти.

3. Дослідити вплив вмісту емульгатора, кислоти та бітуму на фізико-механічні властивості емульсій: однорідність, стійкість при зберіганні та в'язкість. Оцінити вплив різних чинників на швидкість розпаду бітумних дорожніх емульсій.

4. Дослідити влив природи, концентрації емульгатора та кислоти на властивості залишкового в'яжучого (температуру розм'якшеності, пенетрацію, дуктильність та зчеплюваність з поверхнею мінерального матеріалу).

5. Експериментально дослідити вплив водного катіонного латексу Butonal NS 198 на фізико-механічні властивості катіонних дорожніх бітумних емульсій: однорідність, в'язкість, швидкість розпаду. Оцінити вплив водного катіонного латексу на фізико-механічні властивості залишкового в'яжучого: температуру розм'якшеності, пенетрацію, дуктильність, еластичність та зчеплюваність з поверхнею мінерального матеріалу.

6. Визначити температурні залежності утримуючої здатності зерен щебеню бітумними в'яжучими та вплив на неї циклічного заморожування – відтавання.

2.3 Висновки по розділу

1. Теоретично обґрунтовано формування структури, яка забезпечить залишковому бітумному в'яжучому одночасно еластичність, підвищену водостійкість, теплостійкість та утримуючу здатність зерен щебеню в тонкому захисному шарі, влаштованому за технологією поверхневої обробки. Формування такої структури залишкового бітумного в'яжучого можливе шляхом модифікації катіоноактивної бітумної дорожньої емульсії водним катіонним латексом.

2. Теоретично обґрунтовано основні стадії механізму розпаду модифікованої водним латексом катіоноактивної бітумної емульсії на поверхні

мінеральних матеріалів та механізм взаємодії бітуму з полімером, що відбувається в процесі та після розпаду емульсії.

3. Результати досліджень другого розділу представлені частково в публікаціях [36, 75, 140]

РОЗДІЛ 3
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Характеристика матеріалів, прийнятих для дослідження

Для приготування катіонних бітумних дорожніх емульсій був прийнятий окиснений нафтовий дорожній бітум марки БНД 70/100 Кременчуцького НПЗ. Для покращення емульгування зменшували в'язкість бітуму шляхом додавання 2 % гасу від його маси за температури 115 ºС. За показниками властивостей гас відповідав вимогам ДСТУ 4796. Розріджений бітум відносився до марки БНД 100/150.

Фізико-механічні властивості бітумів представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості бітумів

Назва показника	Значення для		Метод випробування
	вихідного бітуму	для вихідного бітуму розрідженого 2 % гасу	
Пенетрація, 0,1 мм: за температури 25 °С за температури 0 °С	 73 21	 112 22	ДСТУ EN 1426
Температура розм'якшеності, °С	48	46	ДСТУ EN 1427
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	>100	>100	ДСТУ 8825
Зчеплюваність із поверхнею скла, %	15	12	ДСТУ Б В.2.7-81
Зміна властивостей після прогрівання – зміна маси після прогрівання, %	0,2	0,4	ДСТУ EN 12607-2
– залишкова пенетрація, %	98	80	ДСТУ EN 12607-2
– зміна температури розм'якшеності, °С	5	5	ДСТУ EN 12607-2
Індекс пенетрації	–0,4	–0,12	ДСТУ 8859

Для порівняльного аналізу впливу різних емульгаторів на властивості емульсій бітумних дорожніх катіонних були використані катіоноактивні емульгатори виробництва фірми «CECA Arkema group» (Франція) і фірми «AkzoNobel» (Нідерланди). Фізико-хімічні характеристики емульгаторів, які

використовували для приготування водних розчинів та катіонних бітумних емульсій з різною швидкістю розпаду приведені в таблицях 3.2 - 3.3.

Таблиця 3.2 – Фізико-хімічні характеристики емульгаторів для швидко- та середньорозпадних емульсій (за даними виробників)

Показники	Емульгатори			
	Dinoram SL	Stabiram ASL	Redicot RM007	Redicot EM 44
Стан при 20 °С	рідкий	рідкий	рідкий	рідкий
Щільність при 20 °С, кг/м^3	900	1046	920	930
Температура °С: - застигання - спалаху	 -8 204	 -5 відсутня	 <5 >100	 <5 >100
В'язкість за температури 20 °С, мПа·с	320	25	440	450
Загальна кількість базового азоту, %	-	-	-	5,6-6,4
Лужність при 20 °С	4,4 мл HCl/г	-	130 мг HCl/г	-
Рекомендована концентрація, %	0,15-0,22	0,22-0,28	0,17-0,6	0,12-0,6
Рекомендований діапазон pH	2-4	2-4	1,5-3,5	1,5-3,5

Таблиця 3.3 – Фізико-хімічні характеристики емульгаторів для середньо- та повільнорозпадних емульсій (за даними виробників)

Показники	Емульгатори					
	Stabiram MS3	Stabiram MS6	Polyram L90	Polyram L80	Redicot EM 26	Redicot E 11
Стан при 20 °С	рідкий	рідкий	рідкий	рідкий	рідкий	рідкий
Щільність при 20 °С, кг/м^3	855	998	930	930	980	890
Температура °С: - застигання - спалаху	 -10 10	 0 >100	 3 >150	 4 >100	 0 18	 -20 -
В'язкість за температури 20 °С, мПа·с	36	38	660	571	100	52
Вміст активної речовини, %					59-62	48-53
Лужність при 20 °С	5,5 мл $HClO_4$/г	0,04 мл HCl/г	6,5 мл $HClO_4$/г	6,31 мл $HClO_4$/г	-	-
Рекомендована концентрація, %	0,4-1	0,4-1	0,3-1	0,3-1	0,5-1,5	0,6-1,5
Рекомендований діапазон pH	1,8-4	1,8-4	1,8-4	1,8-4	2-7	4,0-6,0

Для досягнення рекомендованого виробниками показника pH використовували хлоридну кислоту згідно до ДСТУ 2904 щільністю 1,154 г/см^3 та концентрацією 31 %.

Для модифікації емульсій бітумних дорожніх катіонних використовували водний катіонний латекс Butonal NS 198, властивості якого наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Фізико-хімічні властивості водного катіонного латексу класу термоеластопластів Butonal NS 198 (за даними виробника)

Назва властивостей	Значення
Зовнішній вигляд	Водна дисперсія білого кольору
Хімічний склад	Дисперсія стирол-бутадієн-стиролу
Вміст твердої речовини, %	63-64
Показник pH	4,2-5,2
Щільність, г/см^3	0,95
Рекомендований вміст у складі бітуму, %	2-8

Для дослідження утримуючої здатності в'яжучого, виділеного з емульсій, використовували гранітний щебінь кубовидної форми фракції 5-10 мм Гайворонського спецкар'єру (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Фізико-механічні властивості щебеню фракції 5-10 мм

Найменування показників	Значення
Насипна щільність щебеню, кг/м^3	1440
Вміст пилуватих і глинистих часток, % за масою	0,65
Вміст зерен пластинчастої (лещадної) і голчастої форми, %	8,5
Марка щебеню за міцністю	1400

Для оцінки показника зчеплення бітуму виділеного з емульсії з поверхнею щебеню використовували гранітний щебінь фракції 20-40 мм Кременчуцького кар'єроуправління «Кварц» (табл. 3.6).

Для визначення швидкості розпаду і індексу розпаду використовували пісок для скляної промисловості марки ВС-050-1 згідно з ГОСТ 22551 та

кварцовий пісок Безлюдівського кар'єру (Харківська область). Фізико-механічні властивості та гранулометричний склад пісків наведено в таблицях 3.7 - 3.8.

Таблиця 3.6 – Фізико-механічні властивості щебеню фракції 20-40 мм

Найменування показників	Значення
Насипна щільність щебеню, кг/м^3	1320
Вміст пилуватих і глинистих часток, % за масою	0,8
Вміст зерен пластинчастої (лещадної) і голчастої форми, %	26
Марка щебеню за міцністю	1200

Таблиця 3.7 – Фізико-механічні властивості пісків

Найменування показників	Нормативні значення природного піску згідно з ДСТУ Б В.2.7-32	Фактичні значення	
		пісок з Безлюдівського кар'єру (м. Харків).	пісок для скляної промисловості марки ВС-050-1
Насипна щільність, кг/м^3	не менше 1100 кг/м^3	1490	1500
Істинна щільність, кг/м^3	2, 0-2, 8 г/см^3	2280	2200
Вміст пилуватих і глинистих часток, % за масою	не більше 7%	6,38	0,53
Модуль крупності	-	1,12	0,93

Таблиця 3.8 – Гранулометричний склад пісків

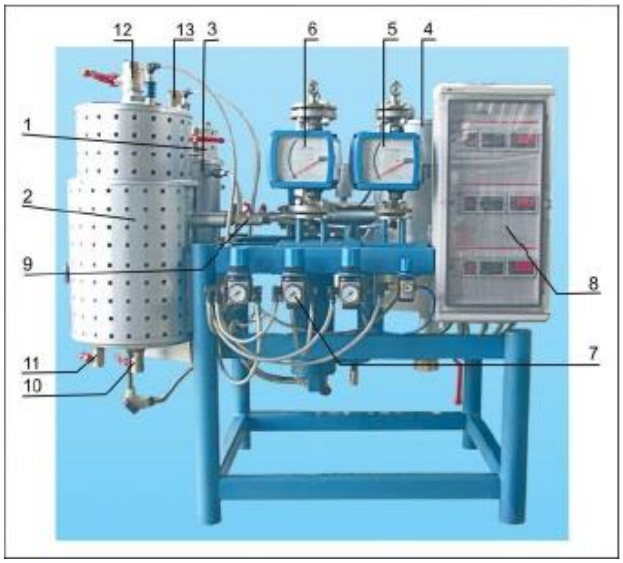
Матеріал	Прохід крізь сито розміром, %						
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,07	<0,071
Пісок для скляної промисловості марки ВС-050-1	100,00	100,00	100,00	96,72	7,38	0,00	0,00
Пісок з Безлюдівського кар'єру (м. Харків)	100,00	100,00	97,46	68,33	22,37	1,48	0,00

3.2. Методи і прилади, прийняті для дослідження

Для виконання програми експериментальних досліджень використовували як стандартні методи дослідження, так і ряд спеціальних методів і приладів.

Бітумні дорожні катіонні емульсії виготовляли в лабораторній установці (рис. 3.1) конструкції заводу «Укрбудмаш». Технологічні режими приготування

бітумних емульсій в лабораторній установці відповідають технологічним режимам промислового устаткування.

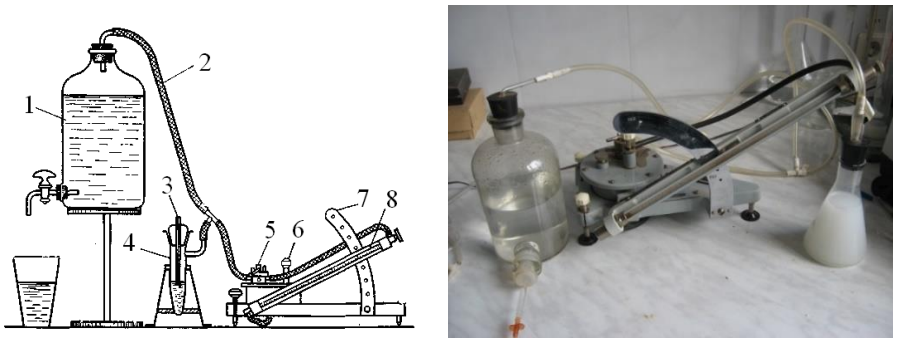


1 – ємність для бітуму з підігрівом, 2 – ємність для водної фази з підігрівом,
3 – ємність для розріджувача, 4 – збірник емульсії, 5 – ротаметр розріджувача,
6 – ротаметр водної фази, 7 – регулятори тиску, 8 – пульт керування,
9 – інжекційний змішувач, 10 – кран для зливання водної фази,
11 – кран для зливання бітуму, 12 – кран для заливання водної фази,
13 – кран для заливання бітуму.

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд лабораторної установки для виготовлення дорожніх бітумних емульсій

Приготування емульсій в лабораторній установці виконували поетапно. На першому етапі змішували бітум з розріджувачем. Потім розріджений бітум під тиском 1,5 МПа проходив через інжектор, змішуючись з водною фазою, після чого емульгований бітум поступав в гідродинамічний змішувач.

Для проведення порівняльних досліджень поверхневий натяг водних розчинів і емульсій (бітумних та модифікованих) на границі розділу рідина-газ оцінювали за максимальним тиском в бульбашці з використанням мікроманометра (рис. 3.2) [72].

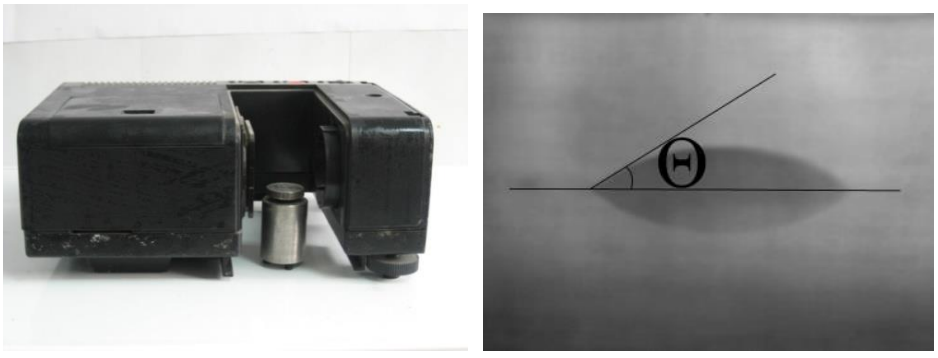


а) б)

а) схема приладу (1 – аспіратор з рідиною; 2 – з’єднувальна трубка із затвором; 3 – капіляр; 4 – дослідна ємність; 5 – триходовий кран; 6 – регулятор рівня манометричної рідини; 7 – регулювальний кронштейн; 8 – градуйована манометрична трубка), б) загальний вигляд приладу.

Рисунок 3.2 – Прилад для визначення поверхневого натягу рідини

Визначення крайового кута змочування водними розчинами емульгаторів, бітумними та модифікованими бітумними емульсіями виконували методом лежачої краплини на поверхні твердого тіла з використанням проекційного приладу. При цьому вимірювали геометричний кут між проекцією основи і дотичною до проекції краплі в точці дотику її з основою при збільшенні проекції в 37 разів (рис. 3.3).



а) б)

Рисунок 3.3 – Прилад для визначення крайового кута змочування рідиною поверхні твердого тіла, а) загальний вигляд приладу, б) схема визначення

Вимірювання кута змочування виконували в наступній послідовності: на встановлену на предметний столик скляну пластинку за допомогою піпетки наносили краплину досліджуваної рідини; поверхню з краплиною підводили до осі сконденсованого світлового променю, їх положення регулювали блоком фокусування таким чином, щоб проекція краплини була чіткою і горизонтальною для уникнення «натікання» і «відтікання» кутів [72]; за допомогою транспортира виконували двосторонні заміри симетричних кутів між проекцією основи і дотичною до проекції краплі в точці дотику її з основою .

За значення кута змочування приймали середнє арифметичне з 10 вимірювань за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \tag{3.1}$$

де $\bar{x}$ – середнє значення кута змочування;

x_i – виміряне значення кута змочування;

n – кількість вимірювань.

Для перевірки необхідної кількості вимірювань виконували статистичну обробку отриманих результатів. Для цього розраховували значення середньоквадратичного відхилення (3.2), коефіцієнт варіації (3.3) та середньоквадратичне відхилення для усієї серії досліджень (3.4):

$$\sigma = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \tag{3.2}$$

$$K_в = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\ \%; \tag{3.3}$$

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \tag{3.4}$$

Оскільки n<30, то ряд відноситься до малої вибірки. Відповідно допустимий інтервал обчислювали з використанням коефіцієнта Стьюдента α_{cm}.

З врахуванням допустимої довірчої ймовірності, рівної 0,95, і $\alpha_{ст}$=2,36 при n=10 визначали довірчий інтервал:

$$\mu_{\text{ст}} = \pm\sigma_0 \cdot \alpha_{\text{ст}}. \quad (3.5)$$

Істинне значення крайового кута змочування скляної поверхні знаходиться в межах:

$$\overline{x_{\text{д}}} = (\bar{x} \pm \mu_{\text{ст}})°. \quad (3.6)$$

Відносна погрішність результатів серії досліджень оцінювали за формулою:

$$\delta = \frac{\sigma_0 \cdot \alpha_{\text{ст}}}{\bar{x}} \cdot 100\ \%. \quad (3.7)$$

Таким чином, при допустимій довірчій ймовірності 0,95, оцінювали входження отриманих експериментально значень крайових кутів змочування в допустимий інтервал.

Дослідження величини адсорбції емульгаторів з водних розчинів на поверхні адсорбента виконували за наступною методикою. Готували водні розчини з різною концентрацією емульгаторів шляхом їх перемішування з теплою дистильованою водою (50 °С) за допомогою магнітної мішалки (рис. 3.4).

Рисунок 3.4 – Магнітна мішалка ММ-5

В подальшому в розчини додавали адсорбент, перемішували і залишали на 2 години. Концентрація адсорбента складала 20 % від маси розчинів. В якості адсорбента використовували митий і висушений до постійної маси природний кварцовий пісок фракції 0,315 - 0,14 мм Безлюдівського кар'єру. Перемішування проводили протягом 20 хвилин зі швидкістю обертання 400 об/хв за температури 20 ºС Зразок залишали на 24 години для досягнення адсорбційної рівноваги. Після цього проводили визначення поверхневого натягу водних розчинів емульгаторів з адсорбентом за температури 50 ºС. Масу адсорбованого емульгатора після адсорбції визначали за ізотермами поверхневого натягу [11, 13, 45, 70]. Величину адсорбції ($г_{ем}/г_{адсорб.}$) розраховували як кількість емульгатора, що адсорбується на одиниці маси піску.

В лабораторних умовах визначали: для характеристики однорідності емульсії – залишок на ситі № 0,14, стійкості при зберіганні – залишок на ситі № 0,14 після зберігання протягом певного часу та показник седиментації для 500 мл бітумної емульсії; показник умовної в'язкості визначали як час витікання 50 г емульсії через отвір діаметром 4 мм за температури 20 °С. Оцінку швидкості розпаду емульсій визначали за здатністю до змішування з сумішами мінеральних матеріалів пористого та щільного складу та за кількістю кварцового піску, яка необхідна для розпаду 50 г емульсії.

Водний катіонний латекс Butonal NS 198 додавали до емульсії у необхідній кількості шляхом поступового введення. Перемішували протягом 10 хвилин вручну, після цього 20 хвилин за допомогою магнітної мішалки ММ-5 зі швидкістю обертання 400 об/хв.

Для оцінки адгезії залишкового в'яжучого до поверхні мінеральних матеріалів визначали показник зчеплюваності з поверхнею щебеню згідно [34] та поверхнею скляних пластин згідно [25].

Для оцінки величини адгезії в'яжучого для поверхневої обробки використовували метод оцінки зчеплюваності в'яжучого з мінеральною частиною згідно ДСТУ Б В.2.7-129 та оцінку міцності зчеплення згідно з ДСТУ EN 13614.

Міцність зчеплення в’яжучого згідно ДСТУ EN 13614 визначали за площею поверхні (у відсотках) кам'яного матеріалу, яка залишилася покритою плівкою в’яжучого після термостатування протягом 24 годин при 60 ºС без води та 24 годин при 60 ºС з водою [127] (рис. 3.5).

Рисунок 3.5 – Етапи визначення міцності зчеплення в’яжучого з щебенем згідно ДСТУ EN 13614

Показник утримуючої здатності залишкового бітуму та залишкового в’яжучого визначали на приладі Віаліт (рис. 3.6) згідно з EN 12272-3 [23].

Підготовку зразків проводили наступним чином: митий гранітний щебінь фракції 5 – 10 мм висушували за температури (100±5) °С протягом 2 годин, після цього охолоджували в ексикаторі не менше 1 год. По поверхні пластини (рис. 3.6) рівномірно розподіляли бітумну емульсію та 100 щебінок. Пластину з втопленим в емульсію щебенем залишали на добу. Для забезпечення заданої температури випробування пластину з приживленим щебенем поміщали в кліматичну камеру і витримували 1 год за заданої температури. Після цього пластину поміщали на направляючі стрижні приладу щебенем вниз та завдавали удар металевою кулею масою 500 г в центр пластини.

а б

Рисунок 3.6 – Прилад Віаліт (а) та металева пластина (б)

Мірою утримуючої здатності служила виражена у відсотках кількість щебінок, що залишилися після випробування.

Визначення показника седиментації бітумних емульсій проводили згідно ДСТУ EN 12847 [126].

Випаровування води для отримання залишкового в'яжучого виконували згідно з California Test 331. Method of test for residue by evaporation of latex modified emulsified asphalt [121] за наступною методикою. Зразок емульсії 40 г витримували в сушильній шафі протягом 30 хвилин при температурі 118 °С, перемішували, потім 1,5 години при 138 °С, перемішували, потім ще 1 годину при 138 °С. Загальний час випарювання не перевищував 3 годин.

Для моделювання старіння залишкового в’яжучого проводили термостатування виділеного бітуму в шарі товщиною 4 мм температури 65 °С протягом 200 годин, після чого визначали основні показники фізико-механічних властивостей в’яжучого.

3.3 Висновки по розділу

1. Результатами експериментальних досліджень підтверджено, що складники емульсій і матеріали, прийняті для визначення фізико-механічних властивостей емульсій та виділеного в’яжучого, відповідають вимогам чинних стандартів

2. Для дослідження впливу різних чинників на водостійкість в’яжучих, утворених в результаті розпаду емульсій, обрано методи оцінки зчеплюваності зі щебенем згідно з ДСТУ Б В.2.7-129, міцності зчеплюваності зі щебенем згідно з ДСТУ EN 13614 та показника зчеплюваності з поверхнею скляних пластин згідно з ДСТУ Б В.2.7-81.

3. Результати, які викладені в третьому розділі, частково представлені у наступних публікаціях [45, 47].

РОЗДІЛ 4
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕННЬ

4.1 Дослідження впливу складу водних фаз та бітумних емульсій на їх термодинамічні та фізико-механічні властивості

Для водних фаз та бітумних емульсій визначали, як термодинамічні характеристики - поверхневий натяг, який виникає на границі поділу емульсія – повітря, крайовий кут змочування, який утворює емульсія на поверхні мінерального матеріалу, роботу сил змочування та сил адсорбції, які визначаються на границі поділу емульсія – поверхня мінеральних матеріалів.

З літературних джерел відомо, що поверхневі властивості водних розчинів емульгаторів на границі поділу з повітрям подібні до їх властивостей на границі поділу з бітумом [35, 51, 61]. Очевидно, що досліджуючи поверхневий натяг водних розчинів емульгаторів на границі поділу з повітрям, можливо порівняти ефективність того чи іншого емульгатора та визначитись з концентрацію, яка необхідна для отримання стійкої емульсії.

Для проведення досліджень були прийняті емульгатори, сферу застосування яких та властивості наведено в розділі 3.

Для визначення поверхневого натягу водних розчинів емульгаторів на границі поділу з повітрям були виготовлені розчини емульгаторів з різною концентрацією їх в емульсії.

Аналіз експериментально отриманих ізотерм поверхневого натягу водних розчинів емульгаторів (рис. 4.1) вказує на те, що їх можна віднести до третього типу ізотерм поверхневого натягу, для яких властиве зниження поверхневого натягу до точки мінімуму, а потім незначне підвищення із зростанням концентрації [13].

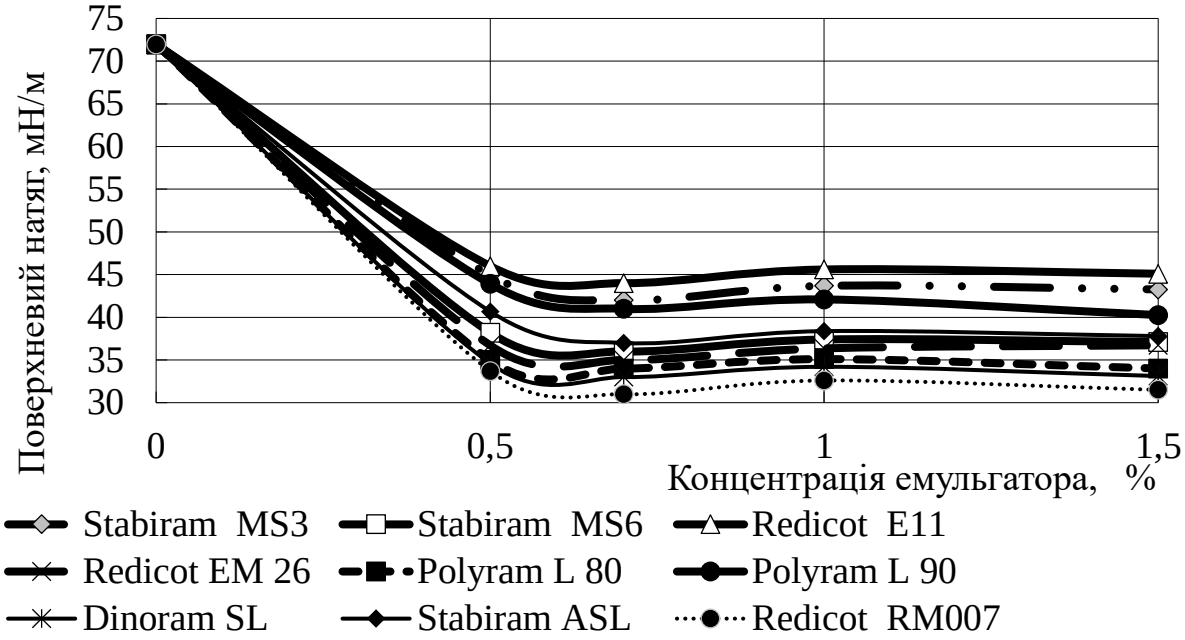


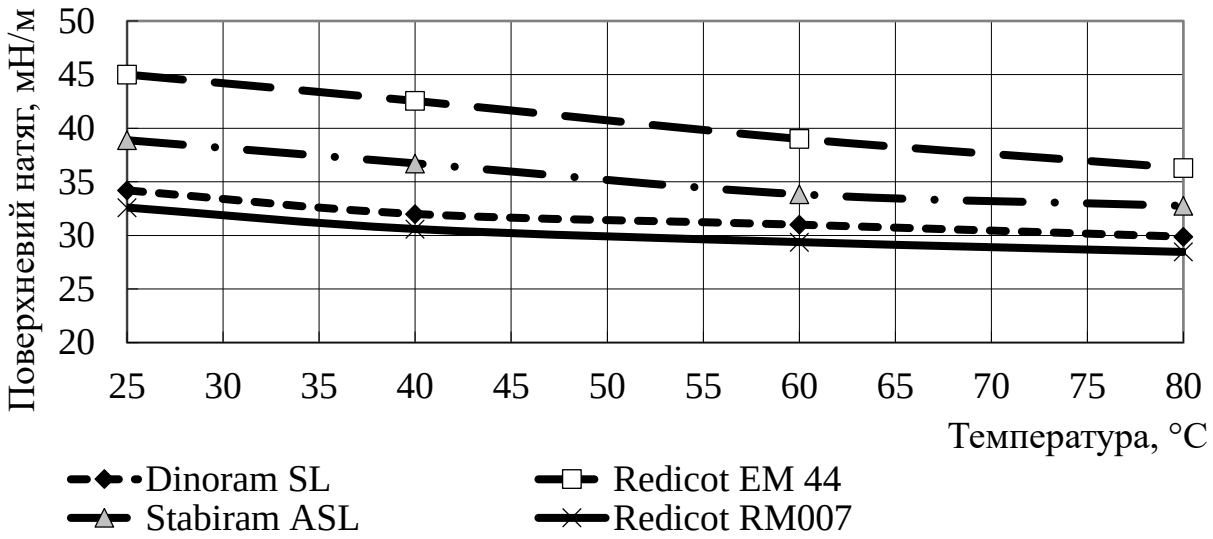
Рисунок 4.1 – Ізотерми поверхневого натягу водних розчинів емульгаторів за температури 25 ºС

З наведених ізотерм видно, що зі збільшенням концентрації емульгатора у водному розчині величина поверхневого натягу зменшується в середньому на 30-40 мН/м, порівняно з поверхневим натягом чистої води. Після досягнення мінімального значення поверхневого натягу збільшення концентрації емульгатора призводить до незначного підвищення поверхневого натягу, а в подальшому майже не впливає на його значення. Вказана закономірність властива для розчинів всіх досліджуваних емульгаторів.

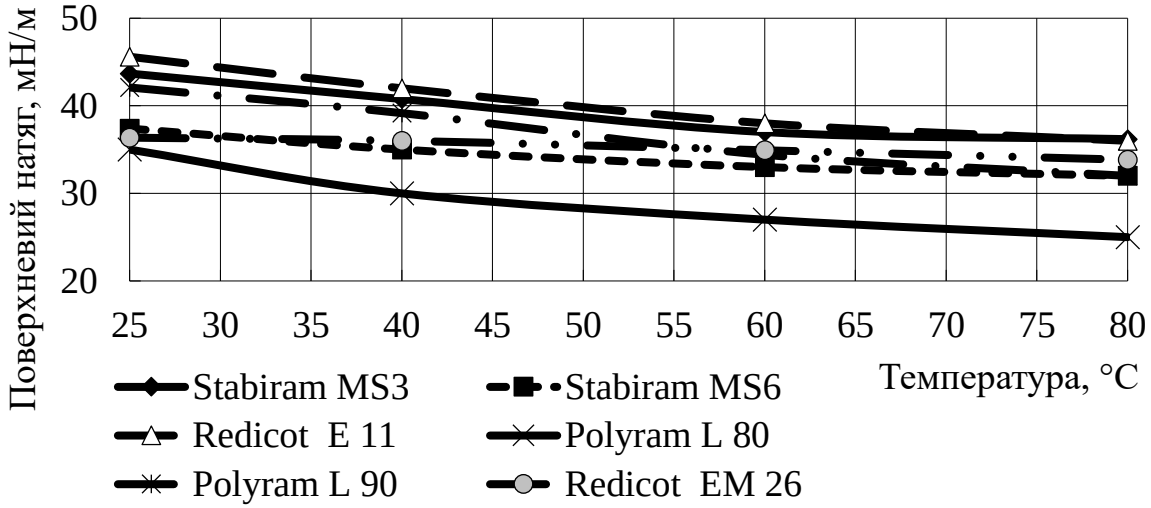
Такий характер концентраційних залежностей емульгаторів пояснюється наявністю критичної концентрації міцелоутворення (ККМ), при досягненні якої відбувається різка зміна властивостей розчинів поверхнево-активних речовин: поверхневого натягу, електропровідності, осмотичного тиску, щільності та інших [1, 13, 60, 108]. Ці зміни є наслідками зміни структури розчинів ПАР, в яких відбувається утворення колоїдних агрегатів - міцел. Для всіх досліджуваних емульгаторів ККМ знаходилась в діапазоні концентрації від 0,5 до 0,8 %.

Опираючись на отримані результати, можна стверджувати, що саме в діапазоні концентрацій, які відповідають критичній концентрації міцелоутворення, емульгатори виявляють максимальну емульгуючу здатність.

Дослідження впливу температури на величину поверхневого натягу та значення ККМ за різних концентрацій емульгаторів наведені на рисунку 4.2.



а)



б)

Рисунок 4.2 – Ізопікни поверхневого натягу

а) водних розчинів емульгаторів першої групи;

б) водних розчинів емульгаторів другої групи

Із наведених температурних залежностей видно, що в діапазоні температур від 25 до 40 °С, поверхневий натяг для одновідсоткових водних розчинів емульгаторів першої групи (емульгатори для швидкорозпадних емульсій) зменшився в середньому на 2 мН/м, а для емульгаторів другої групи (емульгатори для емульсій з середньою та повільною швидкістю розпаду) на 3 мН/м.

В діапазоні температур від 40 до 60 °С величина поверхневого натягу зменшується на 3 та 4 мН/м відповідно, а в діапазоні температур від 60 до 80 °С на 1 мН/м для першої та другої груп.

Найбільшу чутливість до впливу температури за величиною поверхневого натягу проявили емульгатори Polyram L80, Polyram L90, Redicot EM44, Redicot E11.

Серед емульгаторів першої групи менші значення поверхневого натягу властиві водним розчинам емульгаторів Dinoram SL та Redicot RM007, про що свідчить розташування їх ізотерм та ізопікн поверхневого натягу.

Серед емульгаторів другої групи найменші значення поверхневого натягу властиві водному розчину емульгатора Polyram L80. При цьому найбільш відчутне зниження поверхневого натягу для всіх емульгаторів спостерігається в діапазоні температур від 40 до 60 °С.

Для проведення подальших досліджень було обрано емульгатори з найменшими значеннями критичної концентрації міцелоутворення та здатністю розчинятися у воді за температури 40 °С - Dinoram SL, Polyram L80, Redicot RM007, Redicot E11.

Обрані емульгатори мали наступний хімічний склад: Redicot RM007 – суміш алкіламіну та алкілдіаміну етоксилату; Redicot E-11 – N,N,N,N,N- пентаметил - N - талловий алкіл пропандіамін хлорид; Dinoram SL – алкілпропілен діамін; Polyram L80 – алкілпропіленполіамін.

Для уточнення критичної концентрації міцелоутворення для обраних емульгаторів були експериментально визначені ізотерми поверхневого натягу в більшому діапазоні концентрацій (рис. 4.3).

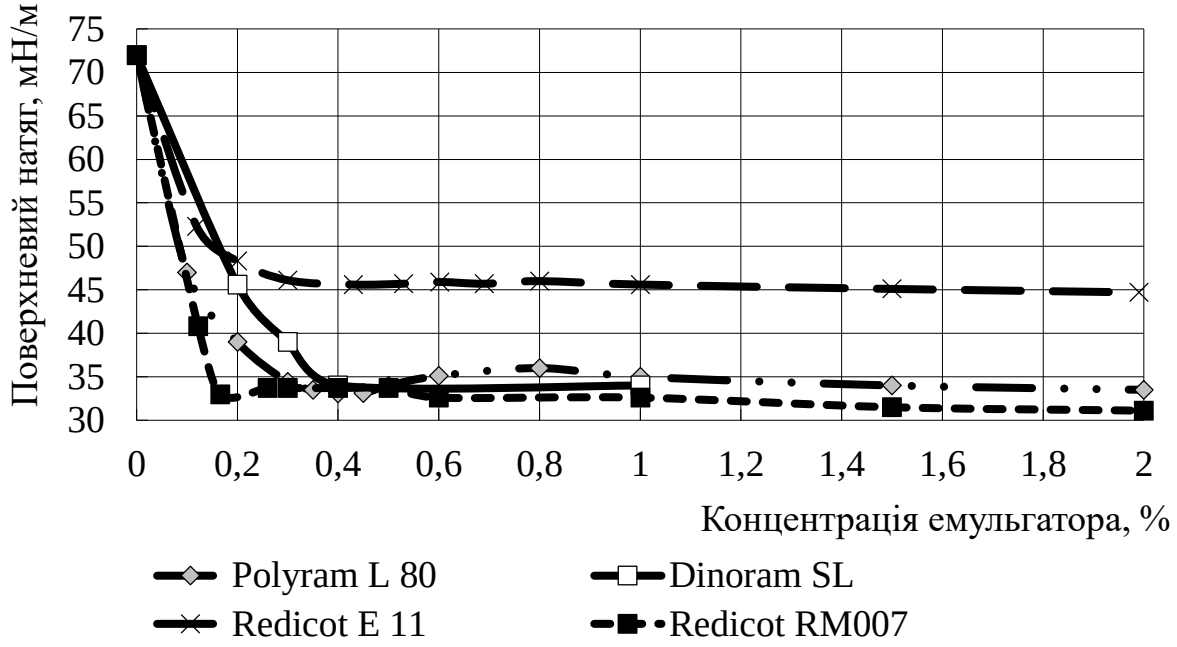


Рисунок 4.3 – Ізотерми поверхневого натягу водних розчинів емульгаторів за температури 25 °С

Із отриманих залежностей видно, що критична концентрація міцелоутворення досліджуваних емульгаторів за температури 25 ºС для Polyram L80 становить 0,3 %, для Dinoram SL – 0,4 %, для Redicot E 11 – 0,35 %, для Redicot RM 007 – 0,17 %.

Серед досліджених емульгаторів найменші значення критичної концентрації міцелоутворення властиві емульгатору Redicot RM 007.

Для проведення порівняльних досліджень адсорбційної активності різних емульгаторів на поверхні мінерального матеріалу здійснено вимірювання поверхневого натягу водних розчинів емульгаторів до та після адсорбції на поверхні мінерального матеріалу (рис. 4.4) згідно з методикою наведеною в розділі 3. Випробування проводили за температури 50 ºС.

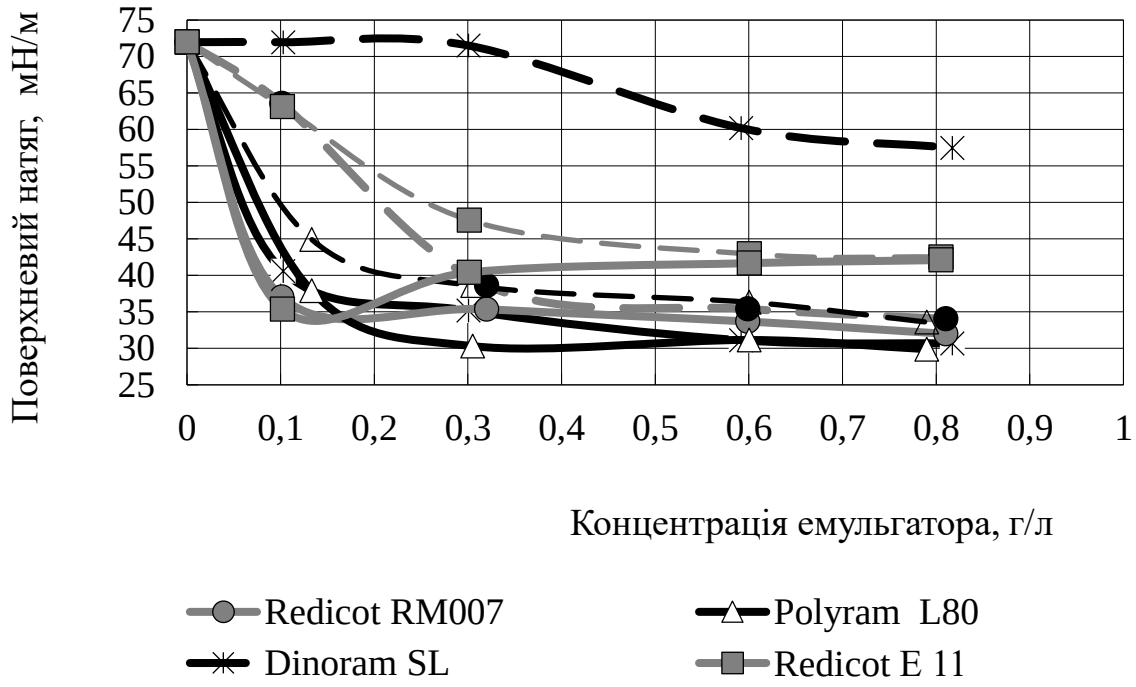


Рисунок 4.4 – Ізотерми поверхневого натягу до та після адсорбції емульгатора на поверхні піску (суцільні лінії – до адсорбції, пунктирні – після адсорбції).

З використанням ізотерм поверхневого натягу побудовані ізотерми адсорбції емульгаторів із водних розчинів на кварцовому піску (рис. 4.5).

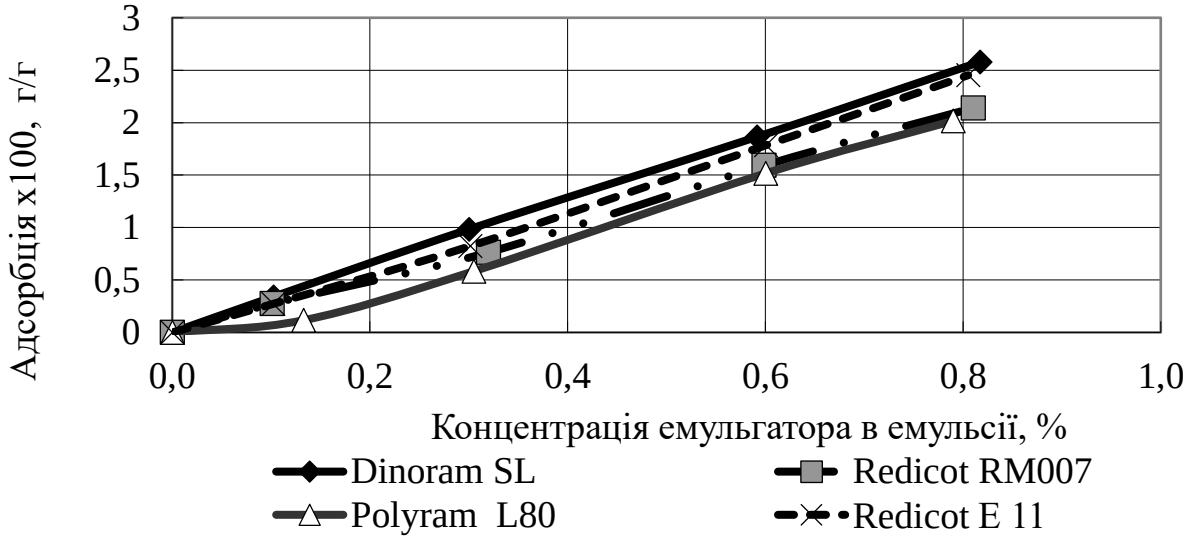


Рисунок 4.5 – Ізотерми адсорбції емульгаторів на поверхні кварцового піску

Найбільші значення величини адсорбції притаманні розчинам на основі емульгатора Dinoram SL, а найменші розчинам на основі Polyram L80. Отримані результати вказують на те, що зі збільшенням величини адсорбції емульгатора швидкість розпаду емульсії на його основі зростає.

Для забезпечення стабілізуючої функції більшість катіонних емульгаторів потребує нейтралізації кислотою. Внаслідок взаємодії катіонного емульгатора та кислоти утворюється водорозчинна сполука, яка дисоціює на іони та забезпечує утворення адсорбційного шару навколо крапель бітуму. Для катіонних емульгаторів згідно ДСТУ Б В.2.7-129 [34] рекомендованим є діапазон pH водної фази від 1,5 до 6,0. При цьому для кожного емульгатора необхідно окремо підбирати кількість кислоти.

Для дослідження впливу концентрації кислоти на поверхневий натяг готували водні розчини з різною концентрацією емульгаторів та хлоридної кислоти.

Згідно з отриманими експериментальними даними, наведеними на рисунках 4.6 – 4.8, зі збільшенням концентрації кислоти у складі розчинів та зменшенням pH спостерігається збільшення величини поверхневого натягу.

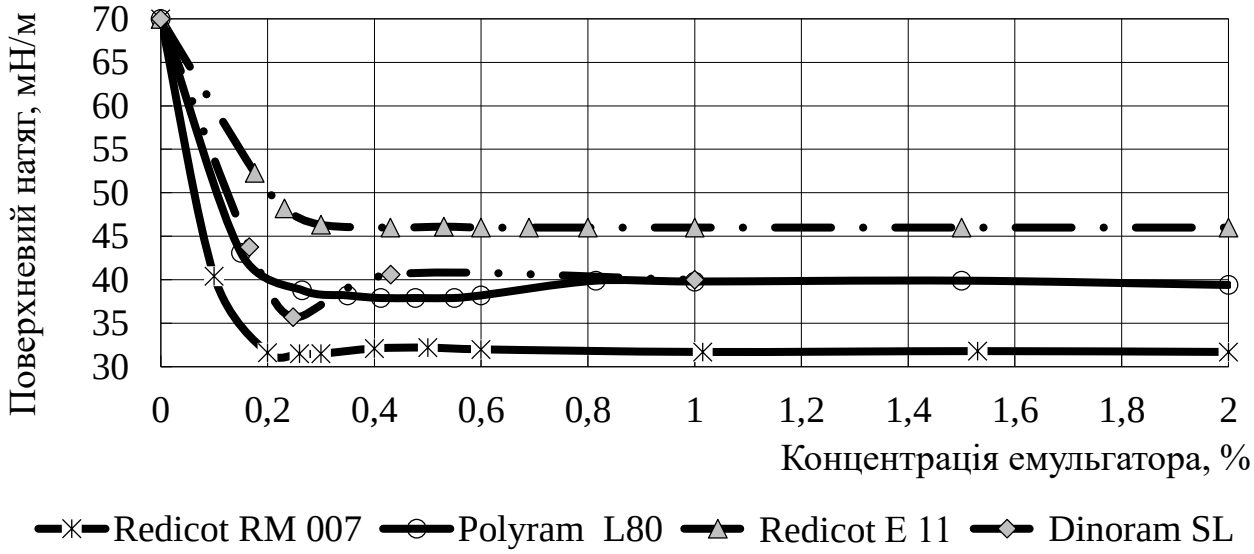


Рисунок 4.6 – Ізотерми поверхневого натягу водної фази за pH = 6

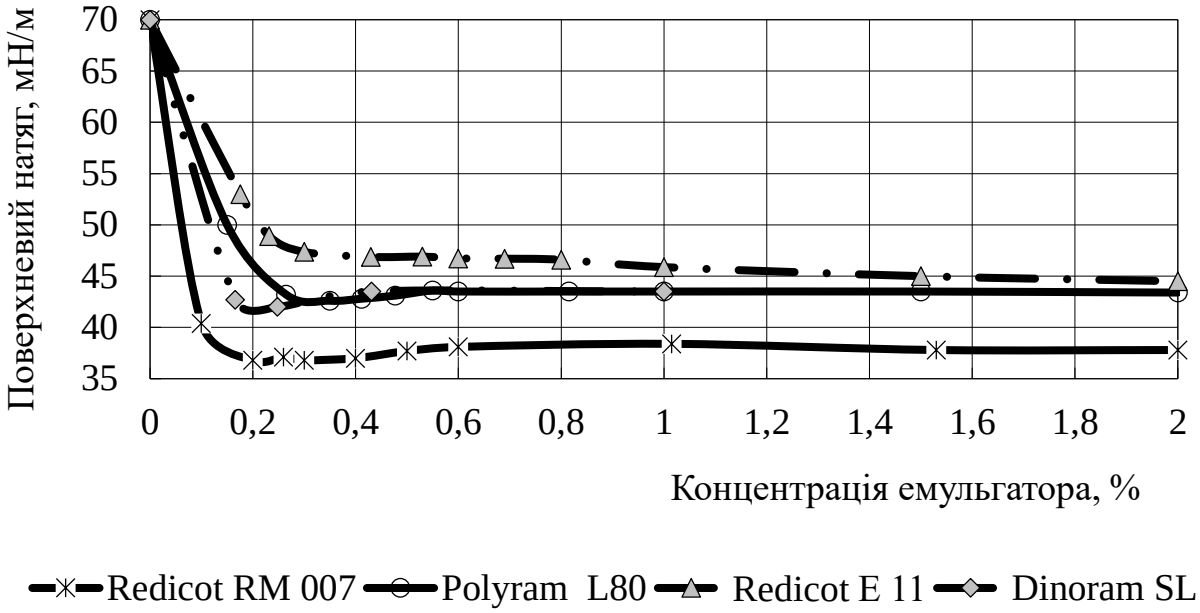


Рисунок 4.7 – Ізотерми поверхневого натягу водної фази за pH = 4

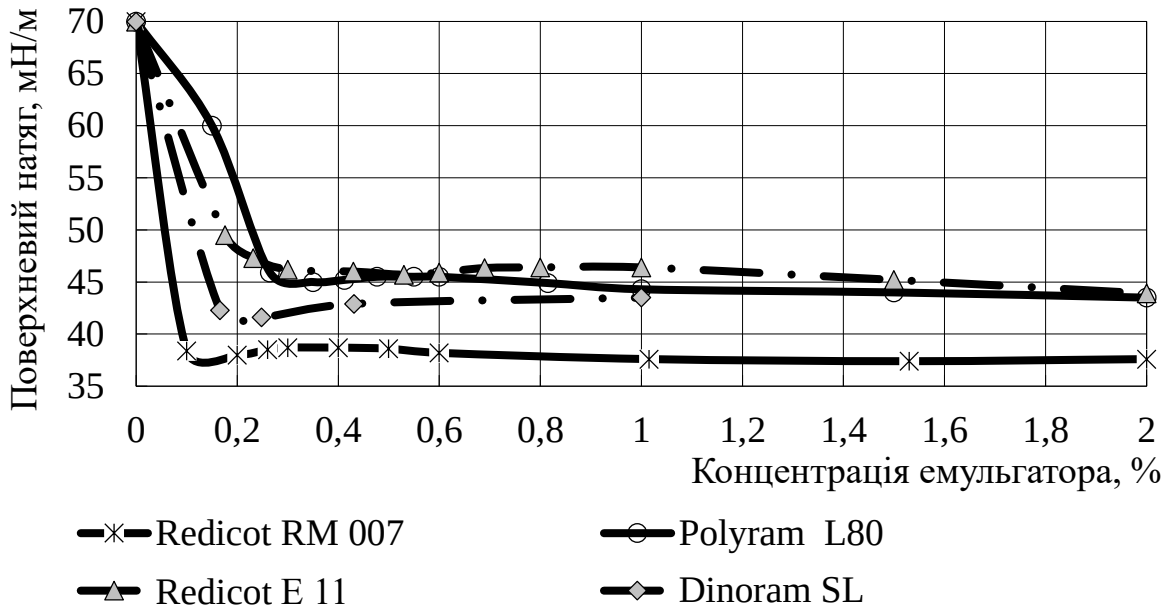


Рисунок 4.8 – Ізотерми поверхневого натягу водної фази за pH = 2

Так, для водної фази на основі емульгатора Redicot RM007 при зменшенні pH від 6 до 2 зростання значення поверхневого натягу складає 5-7 мН/м, на основі емульгатора Polyram L80 – 5-7 мН/м, а на основі емульгатора Dinoram SL – 2-

4 мН/м. На поверхневу активність емульгатора Redicot E11 концентрація кислоти не впливає, оскільки за своєю хімічною природою цей емульгатор не потребує нейтралізації кислотою.

Збільшення поверхневого натягу при зменшенні pH можна пояснити процесом десорбції емульгаторів з поверхні в об'єм розчину.

Найменші значення поверхневого натягу, незалежно від значення водневого показника, властиві водній фазі на основі емульгатора Redicot RM007.

Критична концентрація міцелоутворення досліджуваних емульгаторів, при різних значеннях водневого показника, знаходиться в діапазоні від 0,1 % до 0,3 % для розчину емульгатора Redicot RM007, від 0,16 % до 0,3 % для емульгатора Dinoram SL, від 0,3 % до 0,4 % для емульгатора Polyram L80, від 0,3 % до 0,6 % для емульгатора Redicot E 11.

Введення кислоти до складу водної фази спричиняє зниження значення ККМ для всіх розчинів порівняно з водними розчинами емульгаторів без кислоти.

Для визначення необхідної концентрації кислоти у виробничих умовах необхідно підбирати таке співвідношення концентрації кислоти (Ск) до концентрації емульгатору (Сем), за якого досягається рекомендований діапазон pH. Після підбору в лабораторних умовах такого співвідношення для застосованого емульгатору можна вільно змінювати його концентрацію.

Наприклад, рекомендований виробником діапазон pH для емульгатору Redicot RM007 від 1,5 до 3,5. Для визначення Ск/Сем виготовляли розчини емульгатора з різною концентрацією та додавали в них кислоту, поступово збільшуючи концентрацію.

Після вимірювання значення pH для кожної концентрації побудували залежності. Згідно з даними наведеними на рисунку 4.9 рекомендований виробником діапазон pH для емульгатора Redicot RM007 може бути досягнуто при співвідношенні Ск/Сем від 0,5 до 0,75.

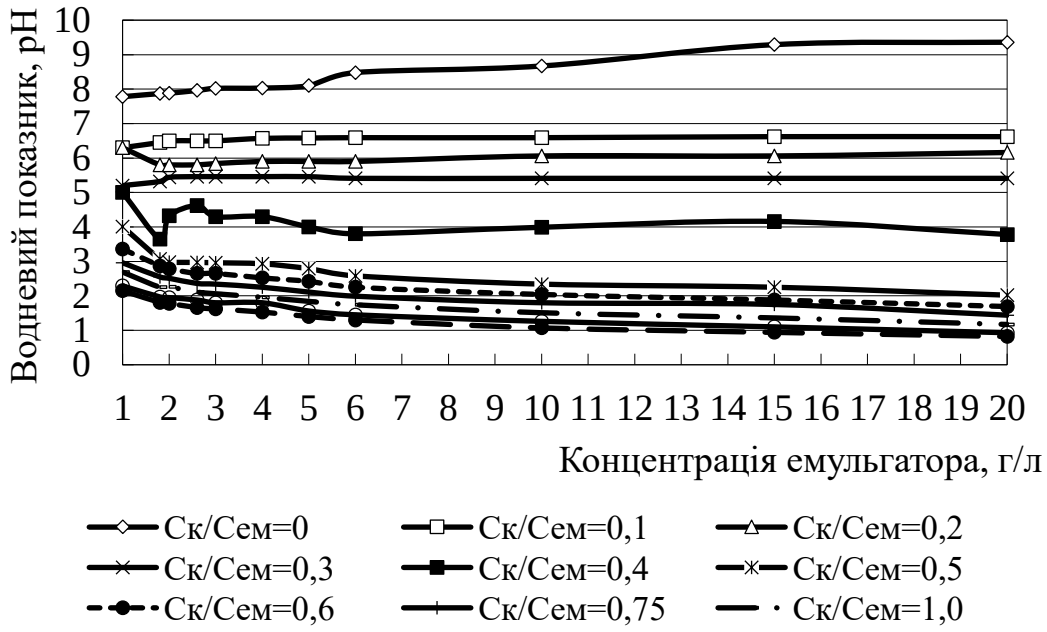


Рисунок 4.9 – Залежність водневого показника від концентрації кислоти та емульгатора

Для наочності за експериментально отриманими даними побудували поверхню (рис. 4.10).

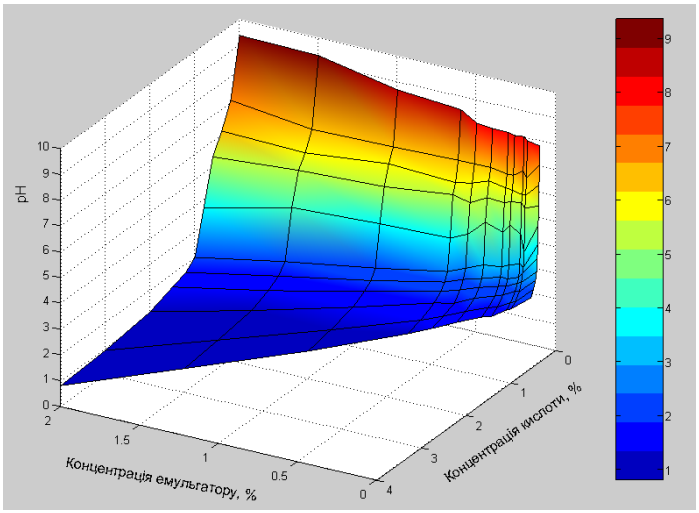


Рисунок 4.10 – Залежність pH від концентрації емульгатора та кислоти

На основі отриманої залежності вибрали необхідні значення концентрації кислоти для досягнення необхідного значення pH від 1,5 до 3,5 (рис. 4.11).

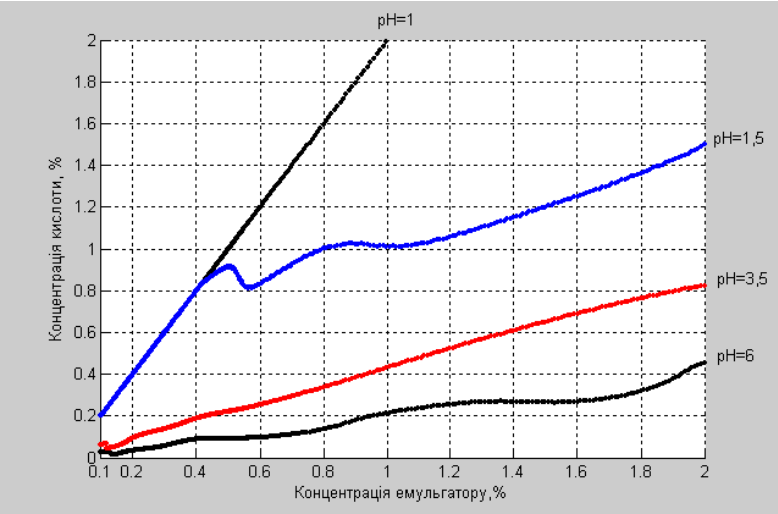


Рисунок 4.11 – Визначення необхідної концентрації кислоти

За залежністю представленою на рисунку 4.11 визначали необхідну концентрацію кислоти за різних значеннях концентрації емульгатора для досягнення потрібного значення водневого показника pH.

На основі досліджених водних фаз були виготовлені катіонні бітумні емульсії з вмістом бітуму 60 %, pH=3 та різним вмістом емульгаторів.

Ізотерми поверхневого натягу бітумних емульсій, що наведені на рисунку 4.12, мають традиційний характер, як і ізотерми вихідних водних фаз.

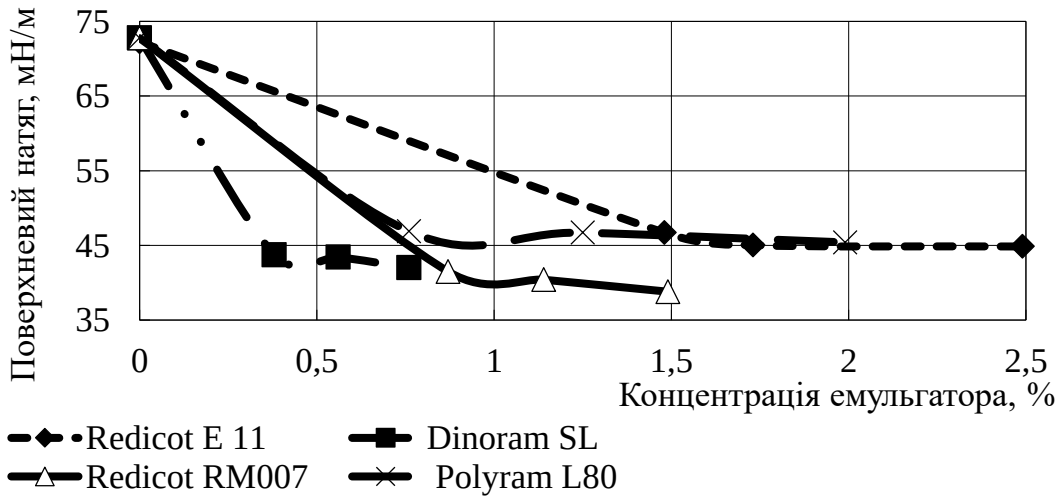


Рисунок 4.12 – Ізотерми поверхневого натягу для емульсій (pH = 3)

На першій частині кривої, до точки перегину, поверхневий натяг зменшується, на другій частині кривої збільшення концентрації емульгатора не впливає на показник поверхневого натягу. Точка перегину відповідає критичній концентрації міцелоутворення. Менші значення поверхневого натягу були властиві для емульсій на основі емульгатора Redicot RM007, як і водних фаз на основі цього ж емульгатора.

Порівняння значень поверхневого натягу водних фаз і емульсій на їх основі (рис. 4.13) вказує на те, що за абсолютною величиною значення поверхневого натягу водних фаз є нижчими, порівняно з емульсіями.

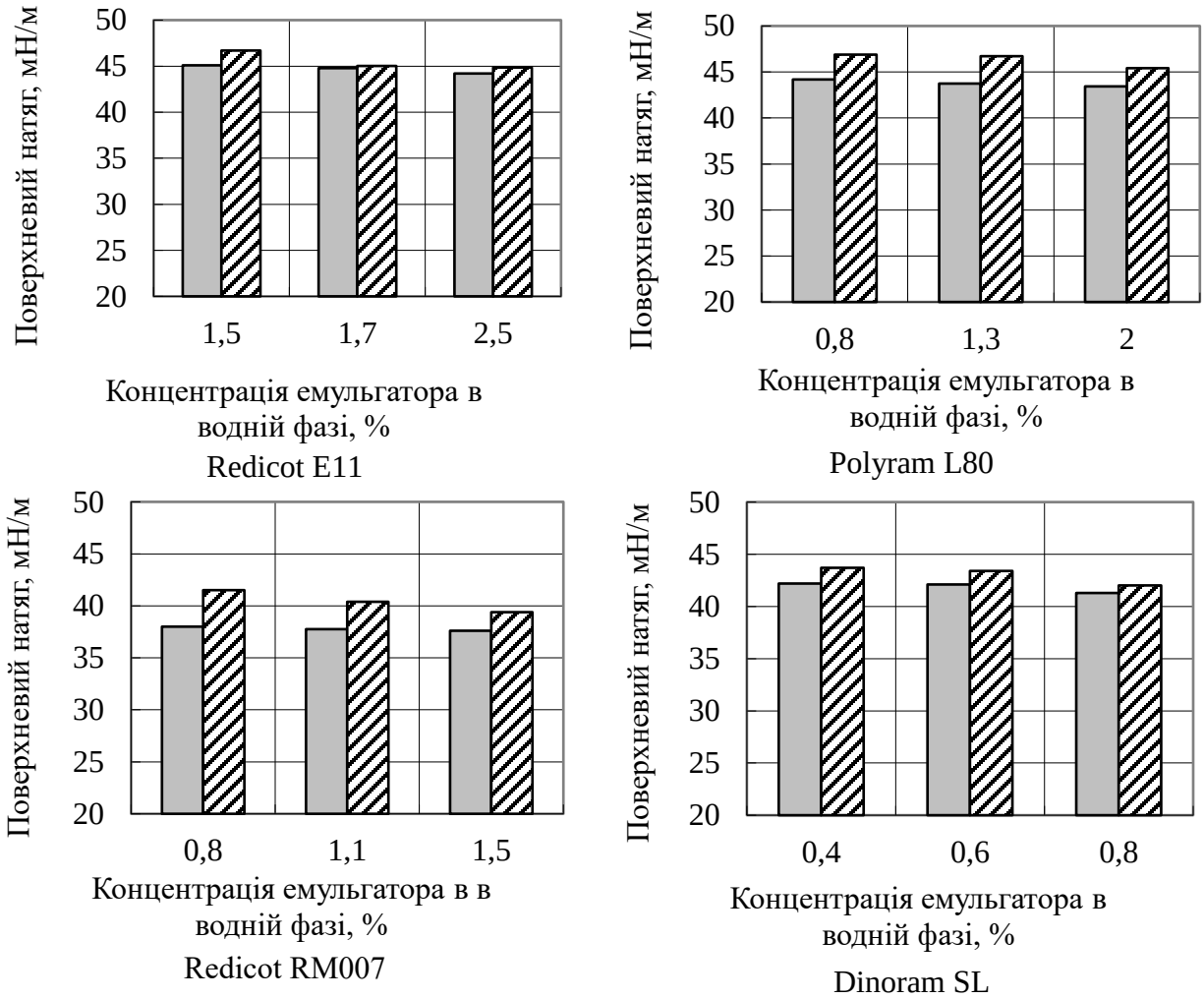


Рисунок 4.13 – Концентраційні залежності поверхневого натягу водних фаз (сірий колір) та емульсій на їх основі (штриховка) для різних емульгаторів

Це пояснюється тим, що частина поверхнево-активних речовин задіяна на стабілізацію крапель бітуму в емульсії, тому на поверхні розділу емульсія – повітря їх кількість менше. При збільшенні концентрації емульгатора різниця зменшується. Так за початкової концентрації вона складає в середньому 2,3 мН/м, а при найбільшій в середньому 1,28 мН/м.

Визначення крайового кута змочування водними фазами та емульсіями на їх основі поверхні скляних пластин проводили методом лежачої краплини за температури випробування 25 ºС.

Оскільки стабільне значення крайового кута змочування досягається протягом певного часу, була досліджена кінетика зміни крайового кута змочування для одновідсоткових водних розчинів емульгаторів. Встановлено, що стабільні значення крайового кута змочування можна отримати через 10-15 хвилин після нанесення краплини рідини (рис. 4.14).

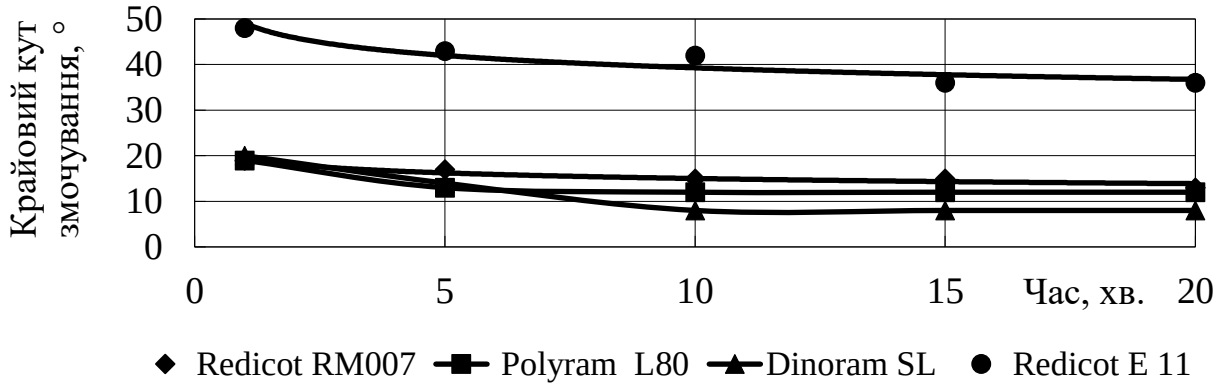


Рисунок 4.14 – Кінетика змочування поверхні скляної пластини водними розчинами емульгаторів

Аналіз результатів експериментальних досліджень, представлених на рисунку 4.15, показує, що концентраційні залежності крайового кута змочування поверхні скляної пластини водними фазами та бітумними емульсіями на їх основі мають подібний характер.

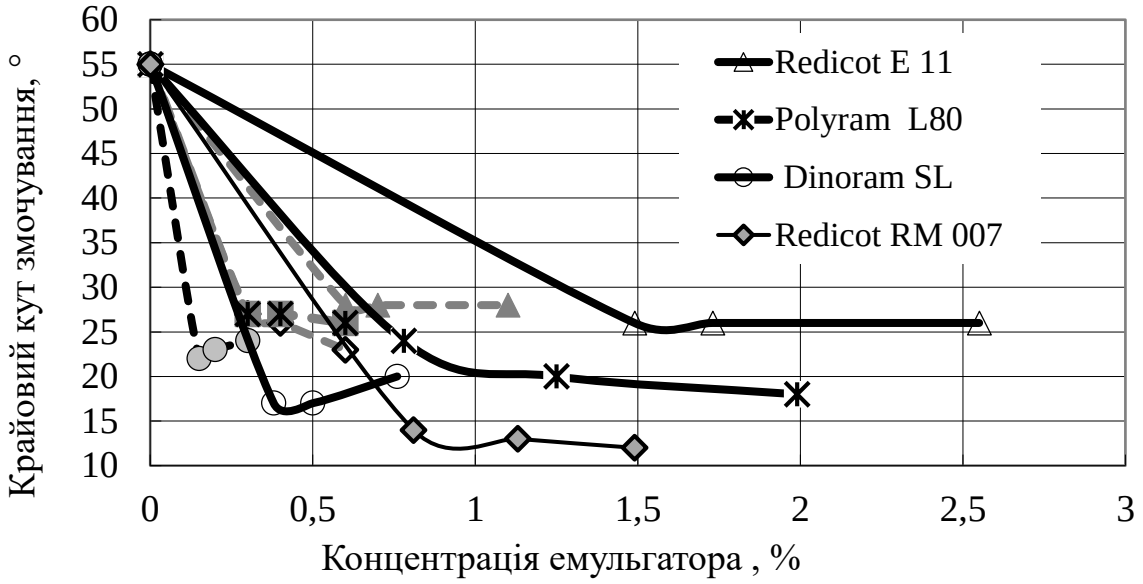


Рисунок 4.15 – Концентраційні залежності крайового кута змочування поверхні скляної пластини (пунктирні лінії – емульсії, суцільні – водні фази)

На всіх кривих є точки перегину, як і на ізотермах поверхневого натягу, які відповідають критичній концентрації міцелоутворення. При цьому значення крайового кута змочування поверхні мінеральних матеріалів водними розчинами, порівняно з емульсіями на їх основі, менші, що можна пояснити зменшенням концентрації молекул емульгатора в емульсії внаслідок адсорбції частини їх на поверхні крапель бітуму. Із отриманих залежностей видно, що менші значення крайового кута змочування властиві як водним фазам так і емульсіям на основі емульгаторів Dinoram SL та Redicot RM007.

Отримані значення поверхневого натягу та крайового кута змочування використовували для розрахунку роботи сил адгезії та сил змочування.

Роботу сил змочування визначали за формулою:

$$W_e^з = \sigma_{еп}\cos\theta_e \qquad (4.1)$$

де $\sigma_{еп}$ – поверхневий натяг рідини на границі поділу з повітрям, мН/м ;

$\cos\theta_e$ – косинус крайового кута змочування поверхні мінерального матеріалу.

На основі порівняння роботи сил змочування (рис. 4.16), яка виконується рідиною під час розтікання по поверхні мінеральних матеріалів, встановлено, що водним фазам та емульсіям на їх основі, властиві дуже близькі значення цього показника. При цьому із збільшення концентрації емульгатора зменшується значення роботи сил змочування і емульсія швидше розтікається по поверхні.

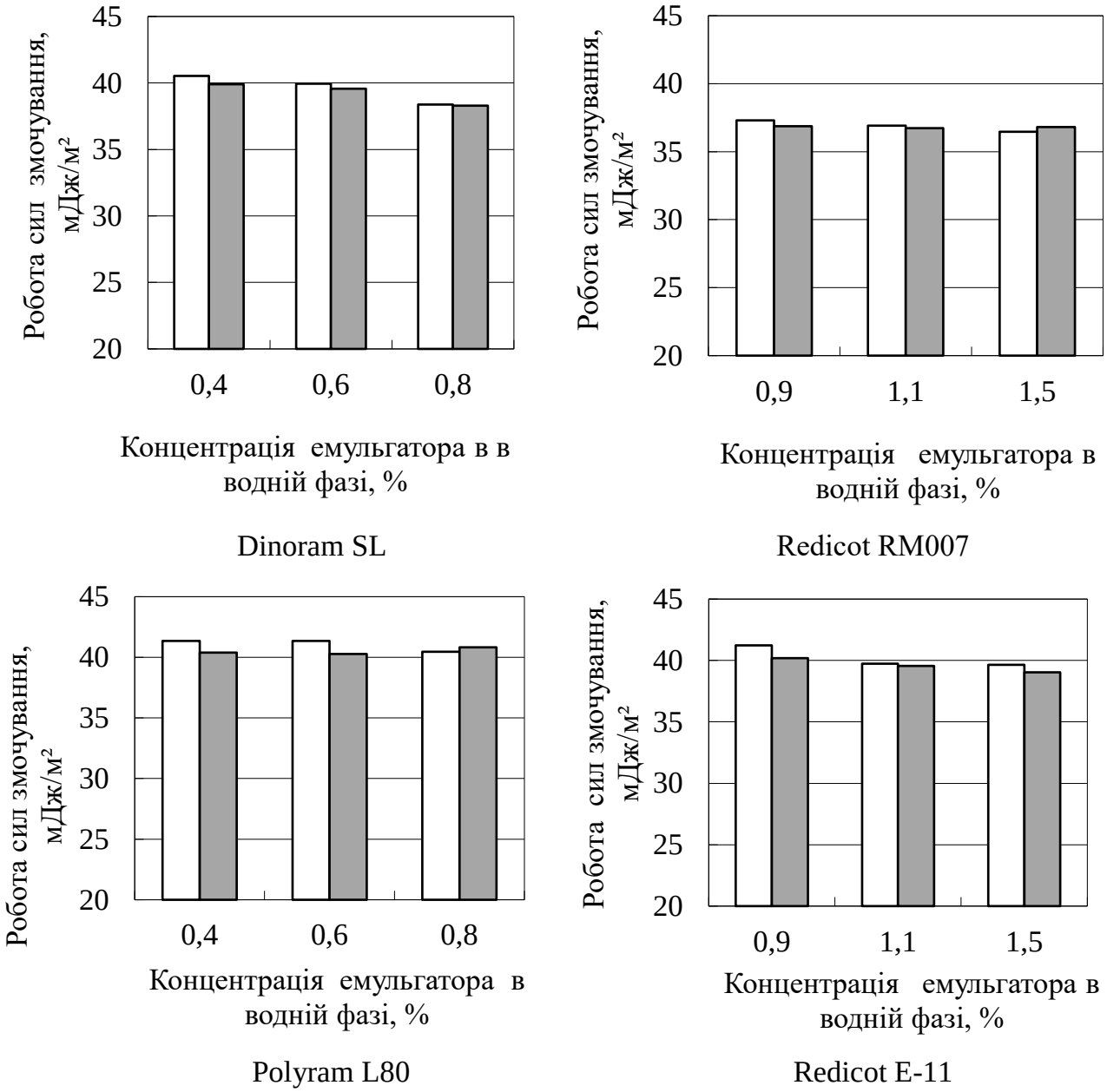


Рисунок 4.16 – Концентраційні залежності роботи сил змочування для різних емульгаторів: білий колір – емульсія, сірий – водна фаза

Із наведених залежностей видно, що менші значення роботи сил змочування властиві водним фазам та емульсіям на основі емульгаторів Redicot RM007 та Dinoram SL, що свідчить про те, що емульсіям на основі цих емульгаторів властива більша швидкість розпаду на поверхні мінеральних матеріалів, порівняно з емульсіями на основі емульгаторів Polyram L80 та Redicot E11.

Розрахунок роботи сил адгезії (W_e^A) виконували згідно рівняння Дюпре-Юнга [13]:

$$W_e^A = \sigma_{еп}(1 + \cos\theta_e), \quad (4.2)$$

де $\sigma_{еп}$ – поверхневий натяг рідини на границі поділу з повітрям, мН/м ;

$\cos\theta_e$ – косинус крайового кута змочування поверхні мінерального матеріалу.

Із наведених на рисунку 4.17 концентраційних залежностей роботи сил адгезії видно, що її значення для всіх водних фаз дещо менші ніж для емульсій на їх основі.

Різниця між роботою сил адгезії водних фаз та емульсій на їх основі становить від 1 до 4 мДж/м^2. Всім досліджуваним водним фазам та емульсіям властиве зменшення роботи сил адгезії зі збільшенням концентрації емульгатора в їхньому складі.

Більші значення роботи сил адгезії властиві водним фазам та емульсіям на основі емульгатора Polyram L80. Очевидно, що цей емульгатор забезпечить кращу зчеплюваність залишкового в'яжучого з поверхнею мінеральних матеріалів, порівняно з іншими досліджуваними емульгаторами.

За абсолютною величиною робота сил адгезії всіх емульсій значно більша, порівняно з бітумом марки БНД 70/100 (від 50 до 60 мДж/м^2) за температури 110-140 °С [35]. Це дає право стверджувати, що зчеплюваність залишкового бітуму з мінеральною поверхнею буде більшою, порівняно із звичайним дорожнім бітумом марки БНД 70/100.

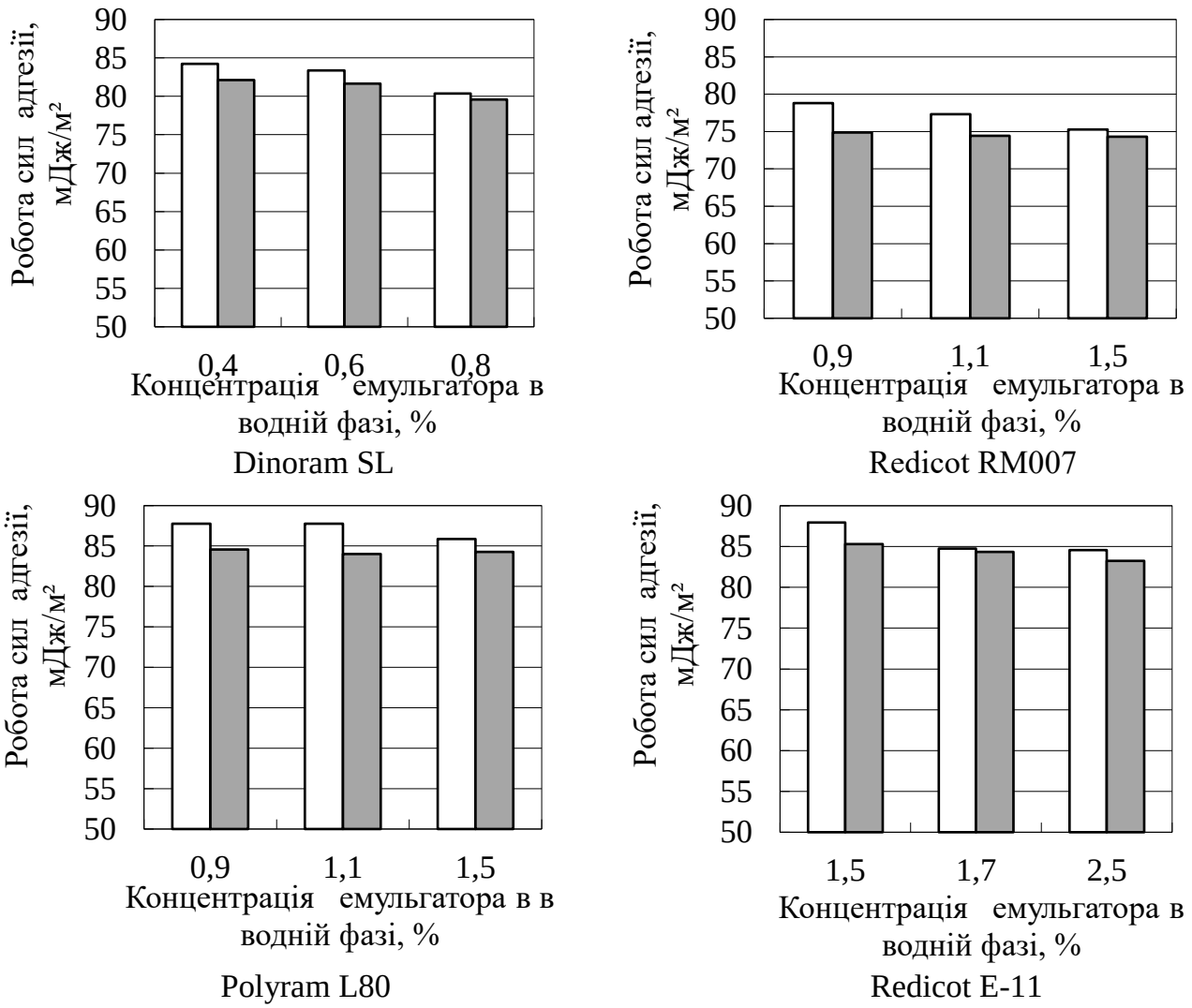


Рисунок 4.17 – Концентраційні залежності роботи сил адгезії для різних емульгаторів: білий колір - емульсія, сірий – водна фаза

Для дослідження впливу концентрації кислоти на процеси, що протікають при контакті емульсії з поверхнею мінеральних матеріалів, були виготовлені бітумні емульсії з однаковою концентрацією катіонного емульгатора Redicot RM007 (0,3 %) та з різною концентрацією соляної кислоти, що відповідала значенням водневого показника pH 1,0; 2,5 та 5,0, вміст бітуму в емульсії складав 60 %.

Аналіз впливу величини pH на змочування емульсією поверхні мінеральних матеріалів (рис. 4.18 - 4.19) вказує на те, що найбільш чутливим до збільшення

концентрації кислоти є крайовий кут змочування (із зменшенням pH емульсії на 4 одиниці крайовий кут змочування зменшився на 14 градусів).

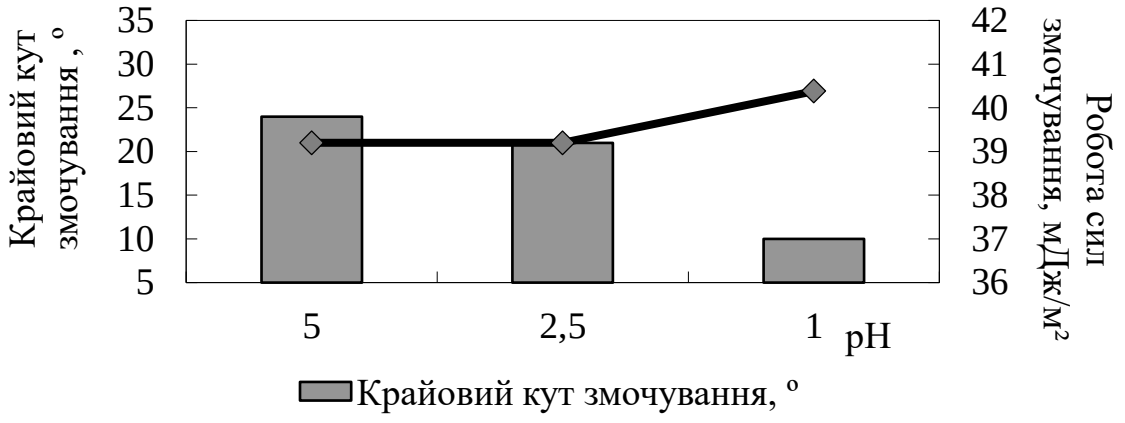


Рисунок 4.18– Вплив величини pH на крайовий кут змочування та роботу сил змочування бітумною емульсією

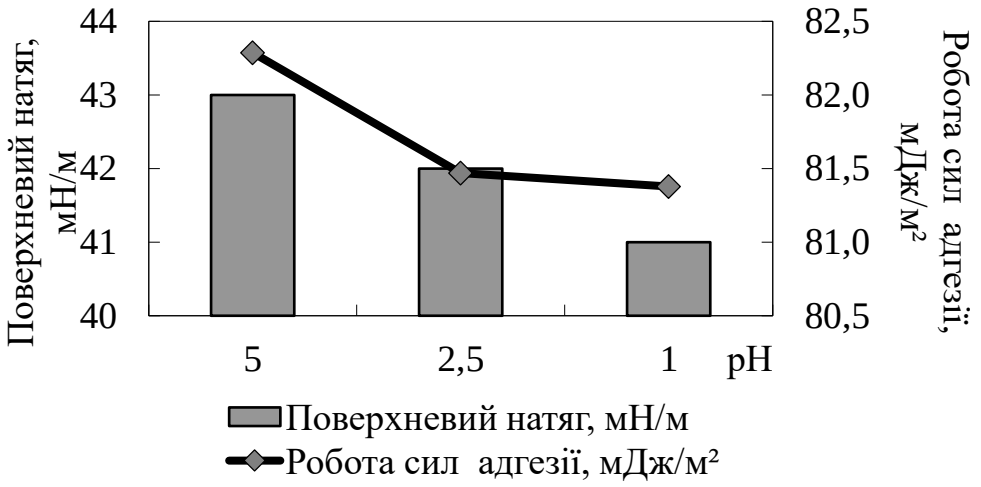


Рисунок 4.19 – Вплив величини pH на поверхневий натяг та роботу сил адгезії бітумної емульсії

Із отриманих залежностей видно, що робота сил змочування збільшилась на 1 мДж/м^2, поверхневий натяг емульсії на границі поділу з повітрям зменшився на 2 мН/м, а робота сил адгезії на 1 мДж/м^2.

4.2 Дослідження впливу різних чинників на фізико-механічні властивості бітумних емульсій

Однорідність бітумних емульсій є однією з важливих технологічних характеристик. Вона більшою мірою, порівняно з іншими чинниками, впливає на стабільність бітумних емульсій під час транспортування та зберігання.

Результати експериментальних досліджень впливу концентрації емульгаторів на однорідність емульсій (рис. 4.20) свідчать про те, що зі збільшенням концентрації емульгатора знижується значення поверхневого натягу та однорідності.

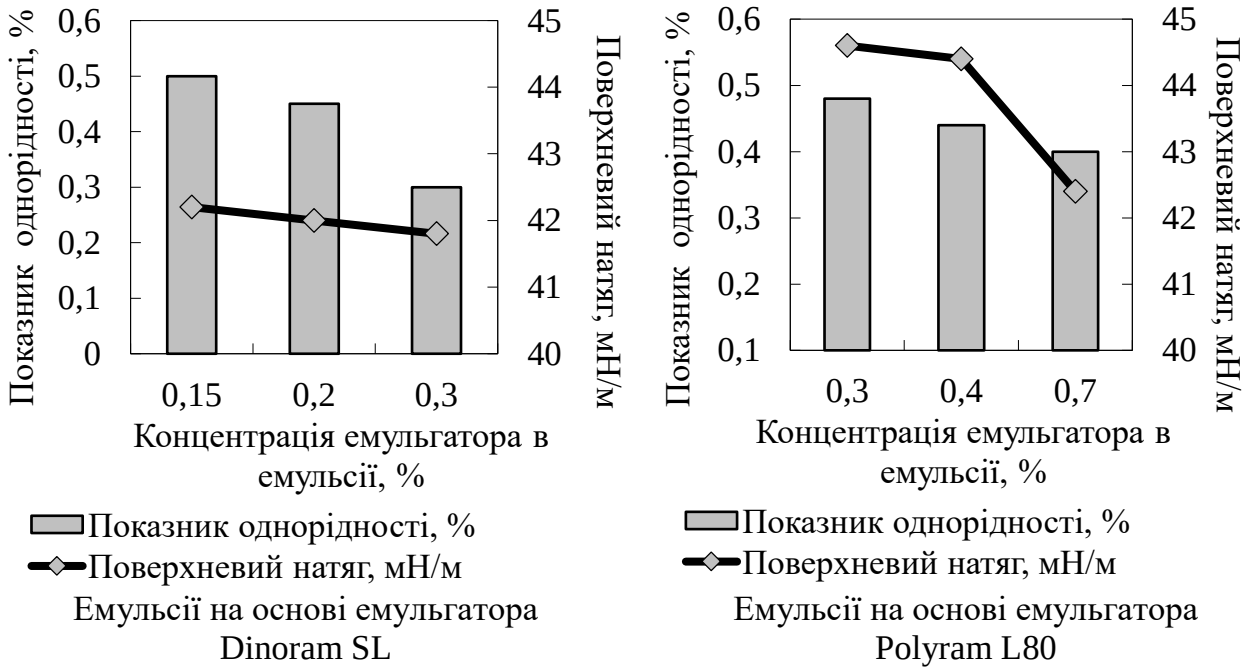


Рисунок 4.20 – Концентраційні залежності поверхневого натягу водних фаз та показника однорідності емульсій (pH=3)

Із наведених даних видно, що за однакової концентрації емульгаторів (0,3 %) для емульсії на емульгаторі Dinoram SL поверхневий натяг та показник однорідності є меншими, проте подальші дослідження однорідності показали, що з

часом емульсія на основі емульгатора Dinoram SL виявилася менш стійкою (рис. 4.21-4.22). Це можна пояснити тим, що однорідність емульсії відразу після її приготування характеризується розміром часток фази та рівномірністю розподілення їх в об'ємі. Якщо частки мають різні розміри, або молекули емульгатора утворює не досить однорідні та міцні оболонки навколо крапель бітуму відбувається злипання часток бітуму – флокуляція та збільшення їх розміру – коалесценція, що спричиняє з часом седиментацію та розшарування бітумної емульсії.

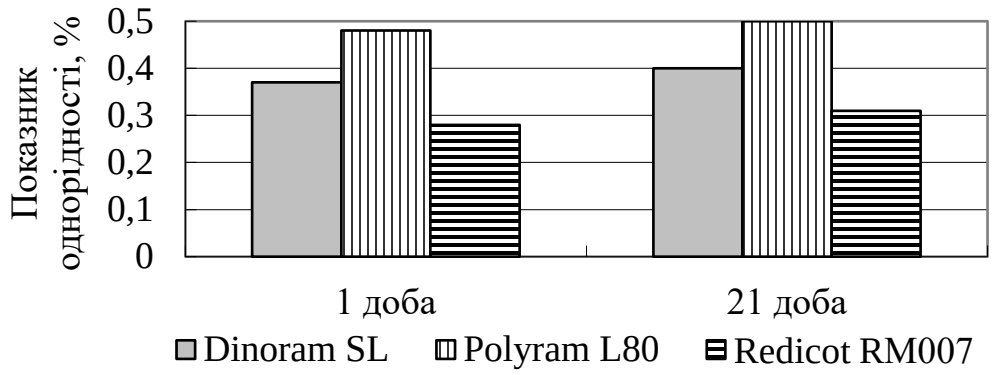


Рисунок 4.21 – Вплив типу емульгатора на зміну показника однорідності емульсій в часі

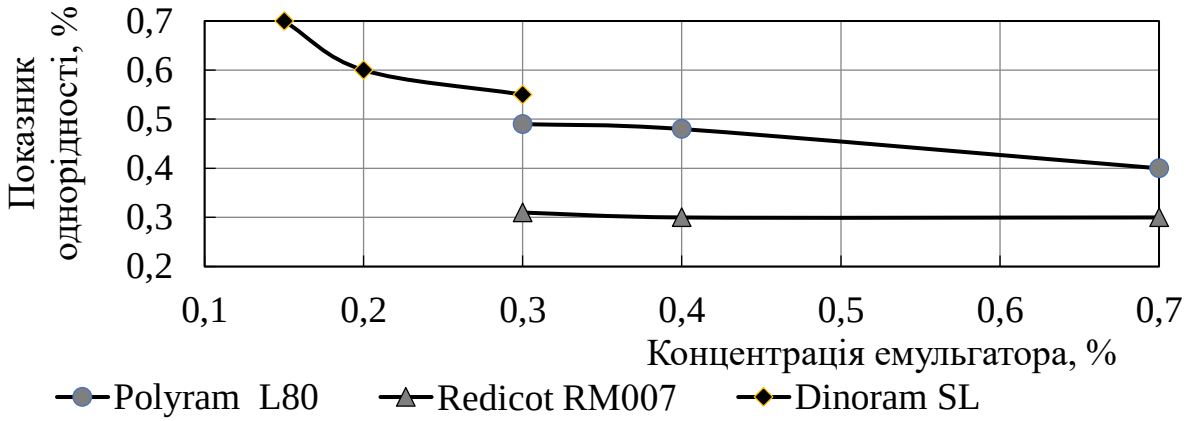


Рисунок 4.22 – Концентраційні залежності показника однорідності емульсій на різних емульгаторах на 21 добу

Експериментальними дослідженнями впливу природи та концентрації емульгаторів на показник однорідності та стійкість під час зберігання (рис.4.21 - 4.22) встановлено, що найбільш однорідною та стійкою під час зберігання є емульсія на основі емульгатора Redicot RM007.

До складу оболонок навколо крапель бітуму обов'язково входить кислота, яка, виконуючи роль протиіону, утворює зовнішній шар міцели. Тому від концентрації кислоти залежить товщина дифузійного шару і, відповідно, стабільність бітумних емульсій під час їхнього зберігання (рис. 4.23).

Експериментальні дослідження впливу величини водневого показника на стійкість бітумних емульсій під час зберігання виконували для бітумних емульсій на основі емульгатора Redicot RM007 з його концентрацією 0,3 %.

В стандартах європейських країн, Австралії та Америки для визначення стійкості емульсії під час зберігання використовують показник седиментації. Згідно з ДСТУ EN 12847 [125] показник седиментації визначали як різницю між вмістом бітуму в нижньому та верхньому шарах емульсії.

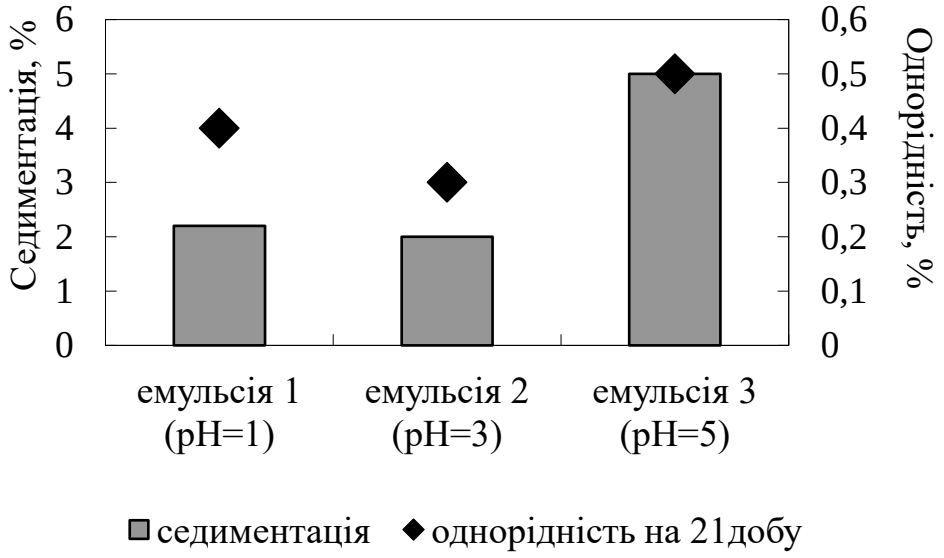


Рисунок 4.23– Залежність показників однорідності та седиментації від величини pH

Порівняння залежностей однорідності на 21 добу та седиментації на 3 добу від величини pH показує (рис. 4.23), що вони мають схожий характер. Найменший показник однорідності та седиментації катіонної емульсії на емульгаторі Redicot RM007 спостерігається за pH≈3.

За результатами проведених досліджень встановлено, що найбільш однорідними та стабільними є емульсії на основі емульгатора Redicot RM007. Для підвищення стабільності емульсій на емульгаторах Dinoram SL та Polyram L80 необхідно збільшувати концентрацію емульгатора в їхньому складі.

Дослідженнями залежності умовної в'язкості емульсій від вмісту та типу емульгатора встановлено, що зі збільшенням концентрації всіх досліджуваних емульгаторів в'язкість дещо збільшується, що напевно пов'язано зі зменшенням показника однорідності (рис. 4.24).

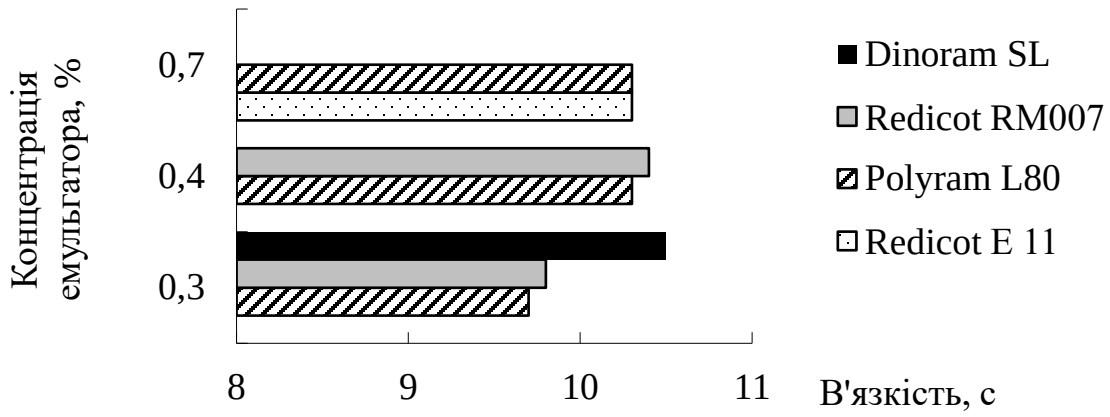


Рисунок 4.24 – Вплив вмісту та типу емульгатора на в'язкість емульсій

Із наведених даних видно, що в діапазоні досліджуваних концентрацій більша в'язкість властива емульсіям на основі емульгатора Dinoram SL.

Аналіз концентраційної залежності в'язкості та однорідності швидкорозпадної емульсії на основі емульгатора Dinoram SL (рис. 4.25) свідчить про те, що зі збільшенням його концентрації в два рази однорідність зменшується на 0,2 %, а в'язкість збільшується на 2 с.

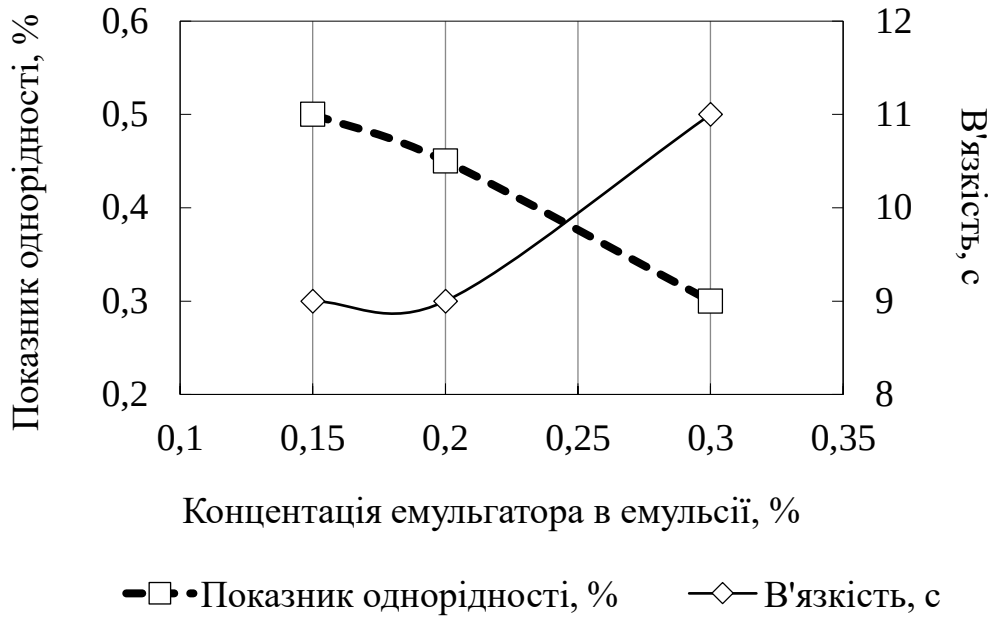


Рисунок 4.25 – Концентраційні залежності в’язкості та однорідності швидкорозпадної емульсії на основі емульгатора Dinoram SL

Результати дослідження впливу концентрації бітуму на в’язкість емульсій (рис. 4.26) вказують на те, що зі збільшенням вмісту бітуму в’язкість емульсій зростає.

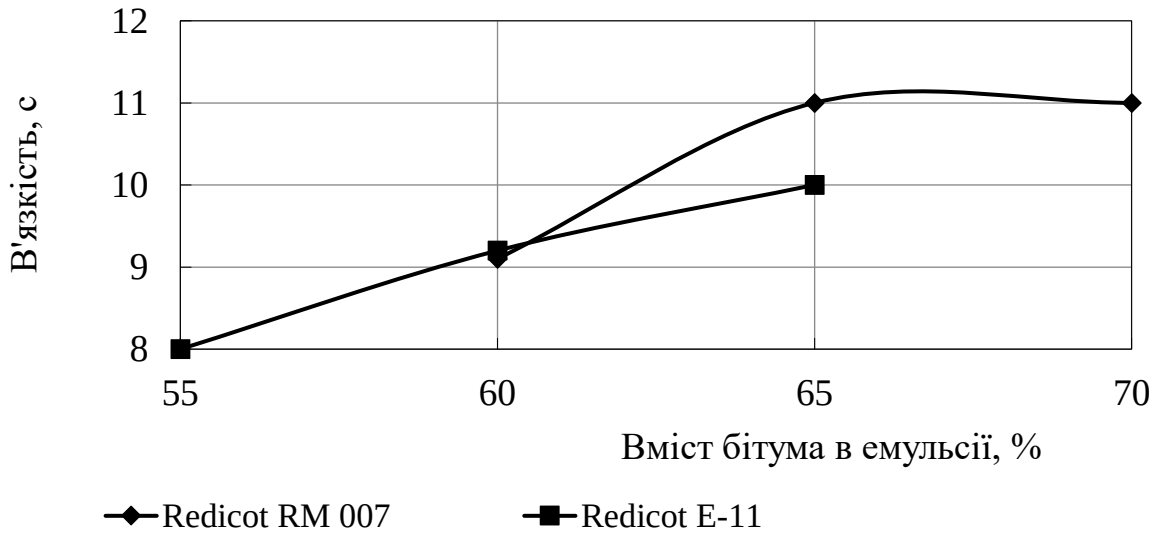


Рисунок 4.26 – Вплив вмісту бітуму на в’язкість досліджуваних бітумних емульсій

Не менш важливою властивістю бітумних емульсій є її швидкість розпаду при контакті з поверхнею мінеральних матеріалів. Саме ця характеристика визначає можливість застосування бітумної емульсії в тій чи іншій технології.

Для оцінки впливу природи мінеральних матеріалів та їх гранулометричного складу на швидкість розпаду емульсій використовували пісок марки ВС-050-1, що використовується в скляній промисловості та кварцовий пісок Безлюдівського кар'єру.

Для визначення індексу розпаду емульсій виготовляли чотири суміші мінеральних матеріалів з різним гранулометричним складом (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Гранулометричний склад сумішей мінеральних матеріалів

Розмір сита, мм	Повні залишки на ситі, %		Розмір сита, мм	Повні залишки на ситі, %		
	Вимоги Тех-542-С до піску [160]	Фактичні значення (суміш 1)		Вимоги СТБ 1245 [99]	Фактичні значення	
					суміш 2	суміші 3 та 4
0,150	0	0	0,315	0	0	0
0,106	5-10	7,5	0,140	80-90	80	90
0,074	40-50	45	0,071	95-100	95	100
0,045	75-90	82,5	<0,071	5-10	5	10

Три суміші (1 – 3) були виготовлені з піску Безлюдівського кар'єру та одна з кварцового піску для скляної промисловості.

Гранулометричний склад першої суміші відповідав вимогам Американського методу визначення індексу розпаду Test procedure for determine breaking index of asphalt emulsions. (Tex-542-C) [160].

Гранулометричний склад другої відповідав мінімальному розміру зерен згідно з СТБ 1245 [99], а третьої та четвертої суміші – максимальному розміру зерен згідно з вимогами СТБ 1245.

Властивості катіонних бітумних емульсій, прийнятих для дослідження, наведені в таблиці 4.2. Концентрація емульгатора в емульсіях складала 0,3 %, а вміст бітуму 60 %.

Таблиця 4.2 – Фізико-механічні властивості досліджуваних емульсій

Найменування показників		Фактичні значення	
		Емульсія 1	Емульсія 2
Зовнішній вигляд		однорідна коричнева рідина	однорідна коричнева рідина
Показник концентрації водневих іонів, pH		1,8	1,7
Однорідність (залишок на ситі № 014), %		0,5	0,3
Вміст залишкового в’яжучого , %		66	60
Умовна в’язкість, с, за температури 20 ºС на приладі з діаметром отвору витоку 4 мм		28	10
Зчеплюваність залишкового в’яжучого з поверхнею щебеню, %		85	90
Змішуваність із сумішами зернових складів	пористого	ні	ні
	щільного	ні	ні

Згідно результатів дослідження, наведених в таблиці 4.3, індекс розпаду емульсій при змішуванні з сумішами 2 та 3 відрізняється майже вдвічі.

Значення індексу розпаду на кварцовому піску для скляної промисловості та піску з Безлюдівського кар’єру (суміші 4 та 3) також відрізняються майже вдвічі.

Отримані результати підтверджують значний вплив природи та гранулометричного складу мінеральних матеріалів на швидкість розпаду емульсій.

Таблиця 4.3 – Значення показників індексу розпаду емульсій

Досліджувана емульсія	Значення показника індексу розпаду емульсій при змішуванні із сумішами			
	№1	№2	№3	№4
Емульсія 1	21	39	86	177
Емульсія 2	27	63	123	252

Аналіз встановленої залежності швидкості розпаду емульсії від концентрації хлоридної кислоти в ній (рис. 4.27) вказує на те, що чим більше концентрація кислоти, тим повільніше відбувається розпад емульсії (індекс розпаду визначали на суміші 3). При зменшенні pH на 4 одиниці індекс розпаду збільшився на 86 одиниць.

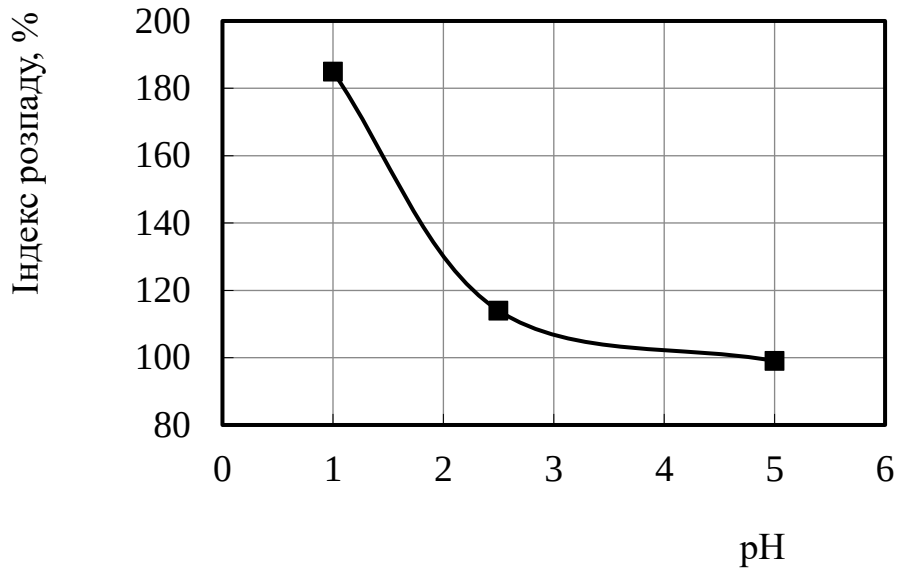


Рисунок 4.27 – Залежність індексу розпаду емульсії від величини pH

За результатами експериментальних досліджень впливу вмісту емульгаторів у складі емульсій на індекс розпаду встановлено, що для емульсій на всіх

досліджуваних емульгаторах властиве збільшення індексу розпаду зі збільшенням концентрації емульгатора (рис. 4.28).

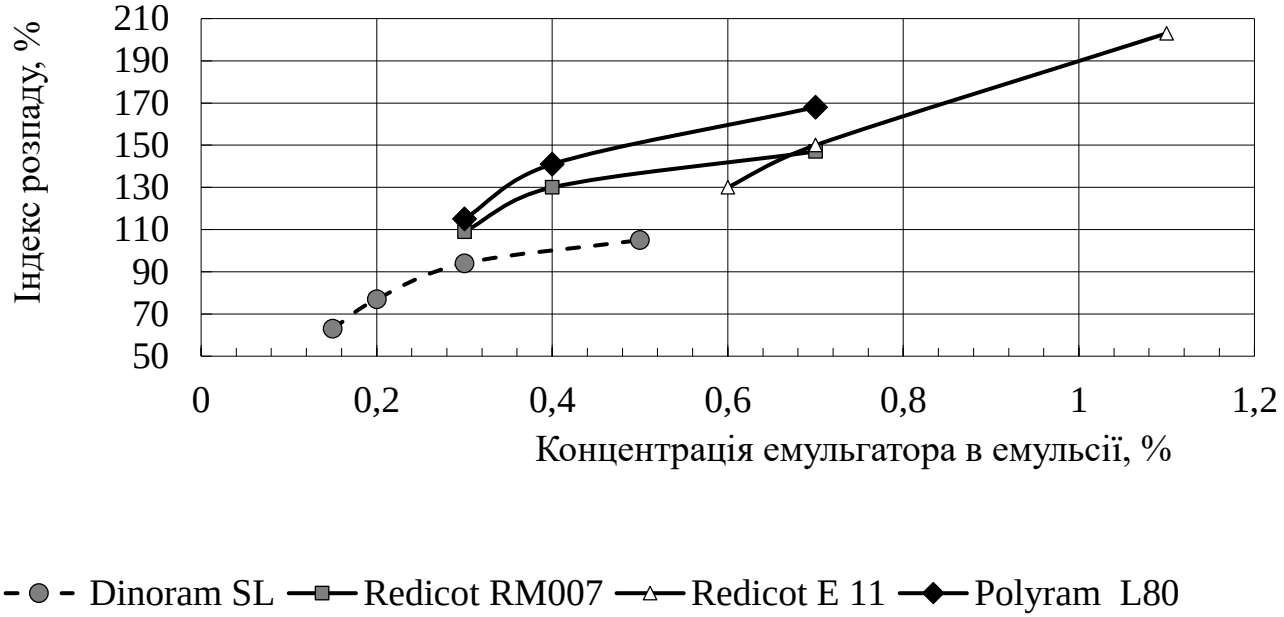


Рисунок 4.28 – Залежності індексу розпаду емульсій від концентрації емульгаторів

Для емульсій на основі емульгатора Dinoram SL при збільшенні концентрації від 0,15 до 0,3 % індекс розпаду збільшився на 31 %, на основі емульгатора Redicot E11 при збільшенні його концентрації в емульсії від 0,6 до 1,1 % на 58 %, при збільшенні концентрації емульгатора Polyram L80 від 0,3 до 0,7 % на 53 %, на основі емульгатора Redicot RM007 при збільшенні концентрації від 0,3 до 0,7 % на 38 %.

Отже, чим більша концентрація емульгатора у складі емульсії, тим повільніше буде відбуватися її розпад на поверхні мінеральних матеріалів.

Дослідження впливу вмісту бітуму на швидкість розпаду бітумних емульсій проводили з використанням швидкорозпадної бітумної емульсії з концентрацією емульгатора Redicot RM 007 0,3 % та pH=3, а також повільнорозпадної бітумної емульсії з концентрацією емульгатора Redicot E11 0,6 % та pH = 4 (рис. 4.29).

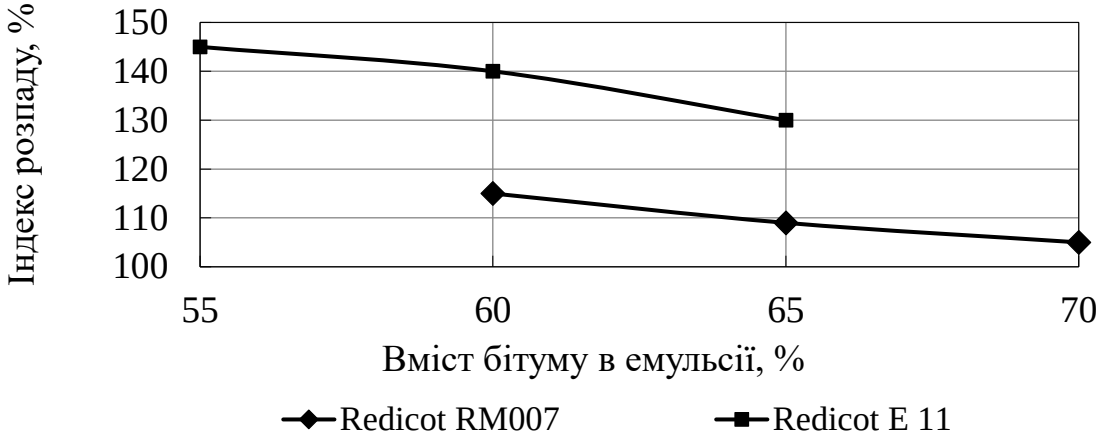


Рисунок 4.29 – Залежність індексу розпаду швидкорозпадної та повільнорозпадної емульсій від вмісту бітуму в них

Із наведеної на рисунку 4.29 концентраційної залежності індексу розпаду видно, що зі збільшенням вмісту бітуму на 10 % для емульсій на основі емульгатора Redicot RM007 індекс розпаду зменшився на 10 одиниць, а для емульсій на основі емульгатора Redicot E11 на 15 одиниць.

4.3 Дослідити вплив різних чинників на властивості бітуму, утвореного внаслідок розпаду емульсій

Результати виконаних експериментальних досліджень впливу типу та концентрації емульгаторів на основні фізико-механічні властивості бітуму, утвореного внаслідок розпаду емульсій, наведено в таблиці 4.4. З наведених даних видно, що збільшення концентрації емульгатора практично не впливає на показники глибини проникнення голки, температури розм’якшеності, зміни властивостей після прогрівання. Більш суттєвий вплив концентрації та типу емульгатора спостерігається для таких показників властивостей як дуктильність та індекс пенетрації.

Таблиця 4.4 – Фізико-механічні властивості залишкового в’яжучого

Назва показників фізико-механічних властивостей	Назва емульгатора											
	Redicot E11			Polyram L80			Redicot RM007			DinoramSL		
Концентрація емульгатора в емульсії,%	0,6	0,7	1	0,3	0,4	0,7	0,3	0,4	0,7	0,15	0,2	0,3
Глибина проникності голки, мм$^{-1}$: за температури 25 °С за температури 0 °С	 73 26	 75 28	 75 29	 80 27	 81 27	 82 28	 80 28	 80 28	 82 29	 78 27	 78 27	 81 28
Температура розм’якшеності, °С	48	48	48	49	49	49	48	48	48	49	49	49
Зміна властивостей після прогрівання при 65 ºС протягом 200 годин. зміна маси, %	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
зміна температури розм’якшеності, ° С	4	4	3	3	4	3	4	3	2	2	3	3
Розтяжність (дуктильність), за температури 25 °С, см	50	51	60	69	69	70	100	92	86	100	81	71
Індекс пенетрації	-0,81	-0,74	-0,74	-0,28	-0,24	-0,24	-0,56	-0,56	-0,48	-0,35	-0,35	-0,24

Із збільшенням концентрації емульгатора Redicot RM007 на 0,4 % та Dinoram SL на 0,15 % у складі емульсій спостерігалось погіршення показника розтяжності при 25 °С на 14 та 25 % відповідно.

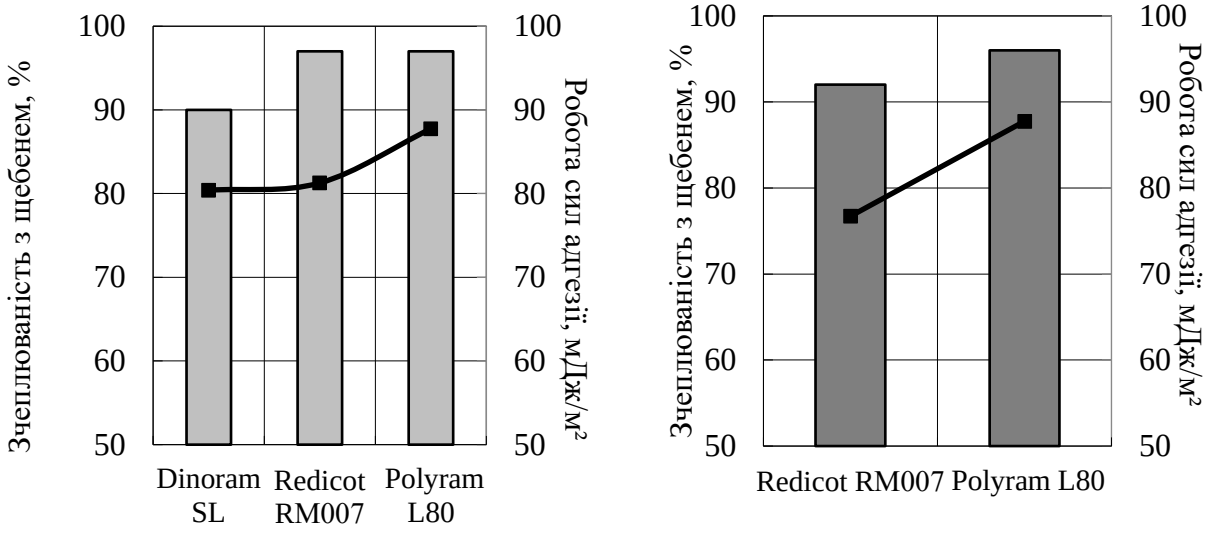
При цьому всі досліджені властивості залишкових бітумів, утворених внаслідок розпаду емульсій, залишаються в межах вимог чинного ДСТУ 4044 до традиційних в'язких дорожніх бітумів.

Важливою характеристикою якості бітумних емульсій є адгезія залишкового в'яжучого до поверхні мінеральних матеріалів. Саме цей показник характеризує водо - та морозостійкість тонких захисних шарів дорожнього покриття, влаштованих за технологією поверхневої обробки із застосуванням бітумних емульсій.

Проведений порівняльний аналіз роботи сил адгезії емульсій та показника зчеплюваності залишкового в'яжучого з поверхнею щебеню, яку визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-129 (рис. 4.30) показав, що при більших значеннях роботи сил адгезії емульсії спостерігаються більші значення показника зчеплюваності залишкового в'яжучого з поверхнею щебеню для всіх досліджуваних емульгаторів.

Більші значення роботи сил адгезії (в середньому на 9 мДж/м^2) та показника зчеплюваності (в середньому на 3 %) властиві бітумним емульсіям на емульгаторі Polyram L80 за його концентрації 0,3 % та 0,4 %, та емульсії на основі емульгатора Redicot E11 за його концентрації в емульсії 0,7 %.

За результатами дослідження зчеплюваності плівки залишкових в'яжучих з поверхнею скляних пластин та зерен щебеню встановлено, що всі залишкові в'яжучі, не залежно від типу емульгатора, мають високі значення цього показника.



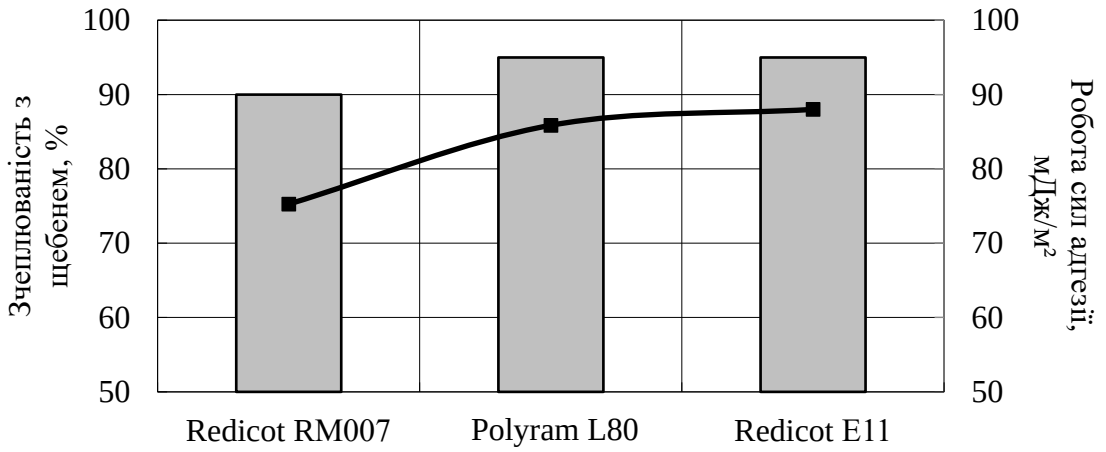
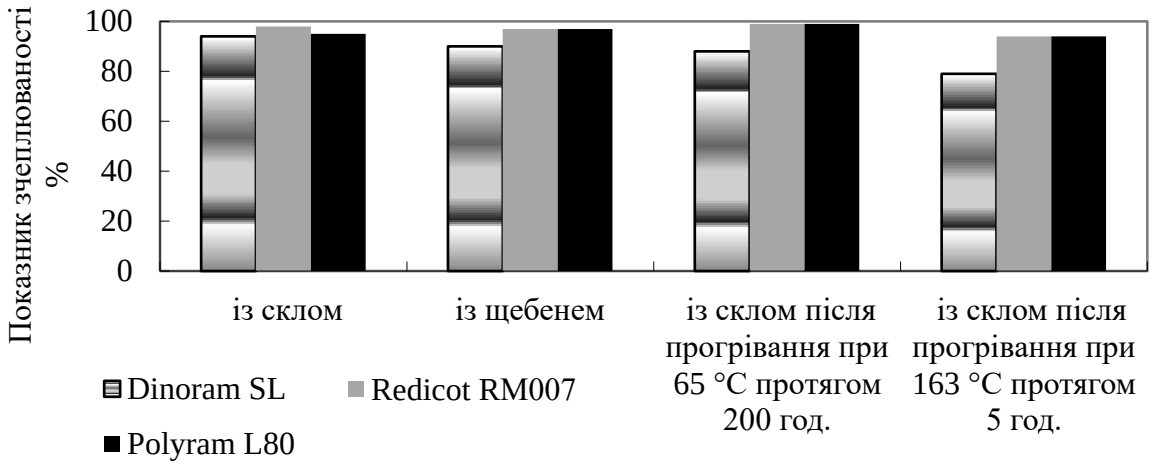


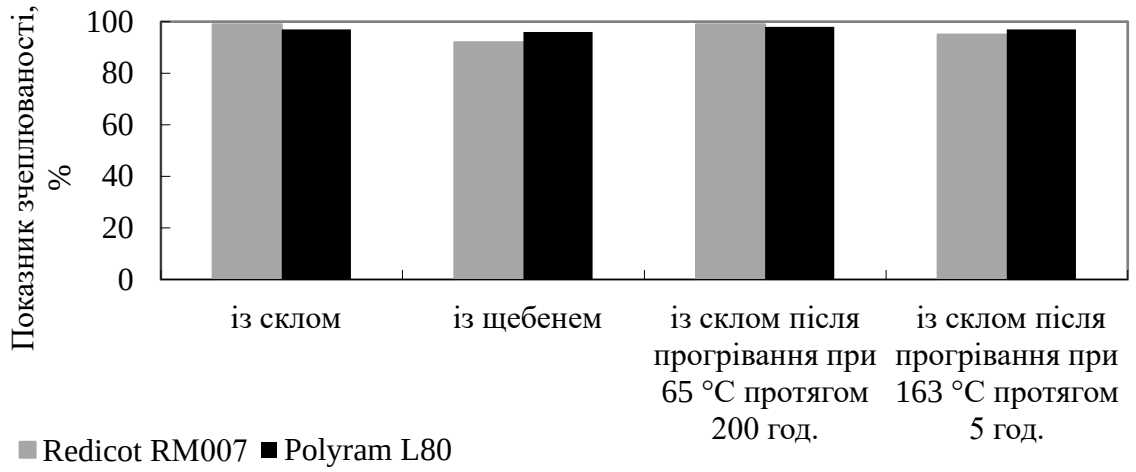
Рисунок 4.30 –Значення роботи сил адгезії емульсій та показника зчеплюваності з поверхнею щебеню залишкового бітуму (сірий колір - показник зчеплюваності; темні лінії – робота сил адгезії)

Із наведених на рисунку 4.31 даних видно, що прогрівання залишкових в'яжучих за температури 163 ºС протягом 5 годин викликає незначне зниження величини показника зчеплюваності з поверхнею скляних пластин, а за температури 65 ºС протягом 200 годин практично не вплинуло на нього.

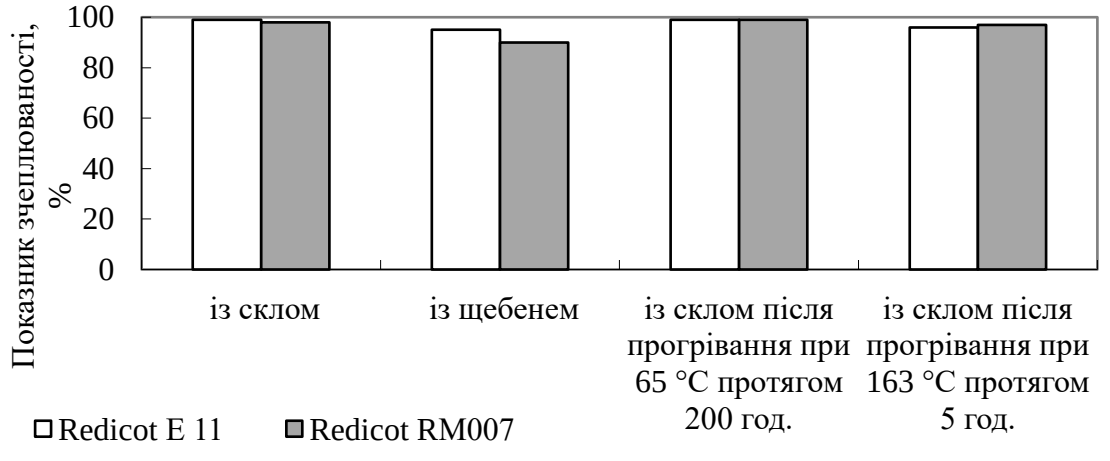
Зниження величини показника зчеплюваності з поверхнею скляних пластин після прогрівання залишкових в'яжучих за температури 163 ºС може бути викликане частковою деструкцією молекул емульгатора під час прогрівання при високій температурі протягом 5 годин



а)



б)



в)

Рисунок 4.31 – Значення показника зчеплюваності з поверхнею скляних пластин та щебеню залишкового бітуму за концентрації емульгатора в емульсії а) 0,3 %, б) 0, 4 %, в) 0,7 %

Для залишкового бітуму з емульгатором Dinoram SL встановлено, що показник зчеплюваності з поверхнею скла після прогрівання за температури 65 ºС протягом 200 годин та 163 °С протягом 5 годин зменшується зі збільшенням концентрації емульгатора Dinoram SL (рис. 4.32 - 4.33).

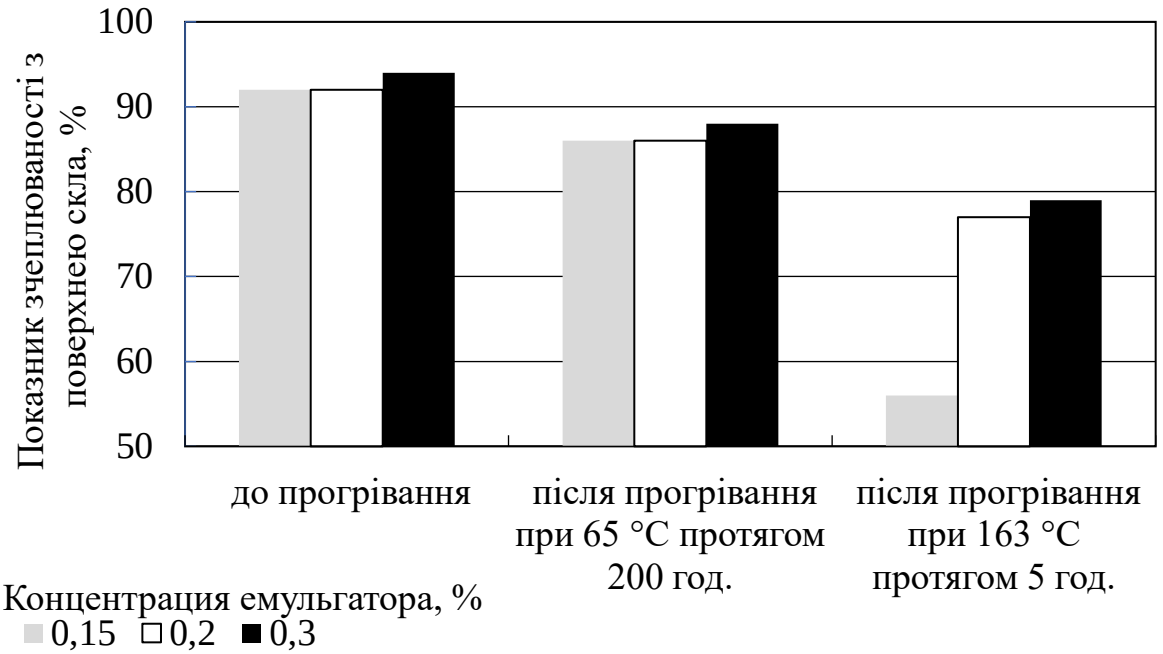


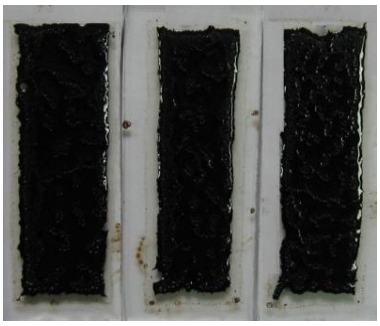
Рисунок 4.32 – Значення показника зчеплюваності з поверхнею скляних пластин плівок залишкового бітуму з емульгатором Dinoram SL до та після прогрівання

Дослідження впливу вмісту кислоти на показники зчеплюваності з поверхнею скляних пластин та утримуючої здатності залишкового бітуму виконували з використанням катіонних бітумних емульсіях на основі емульгатора Redicot RM 007 з різним значенням водневого показника pH. Концентрація емульгатора в емульсіях складала 0,3 %, вміст бітуму 60 %.

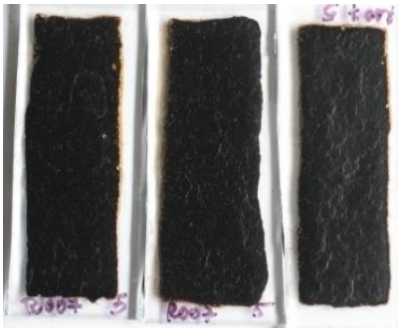
Згідно з даними, наведеними на рисунку 4.37, зміна водневого показника pH бітумної емульсії не призводить до суттєвих змін показників зчеплюваності плівок залишкового бітуму з поверхнею скляних пластин до та після прогрівання за температури 65 °С протягом 200 годин.

Видно, що кращі адгезійні властивості властиві в’яжучому з емульсії з pH 2,5.

До прогрівання



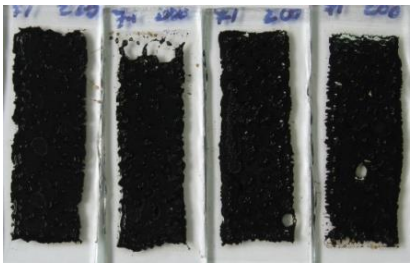
90 %



97 %

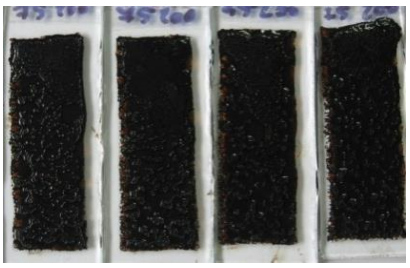
93 %

Після прогрівання



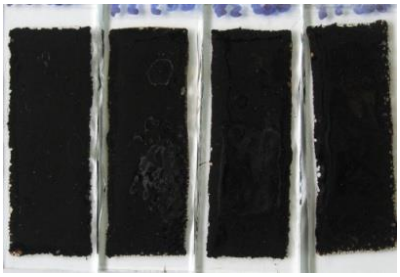
93 %

pH=5



99 %

pH=2,5



99 %

pH= 1

Рисунок 4.33 – Загальний вигляд зразків після випробування

За результатами досліджень встановлено, що показник утримуючої здатності залишкового бітуму визначений за методом Віаліт виявився практично не чутливим до величини pH емульсій (рис. 4.34).

З наведених даних видно, що зі зниженням температури для всіх емульсій, не залежно від показника pH, спостерігалось зменшення утримуючої здатності залишкового бітуму.

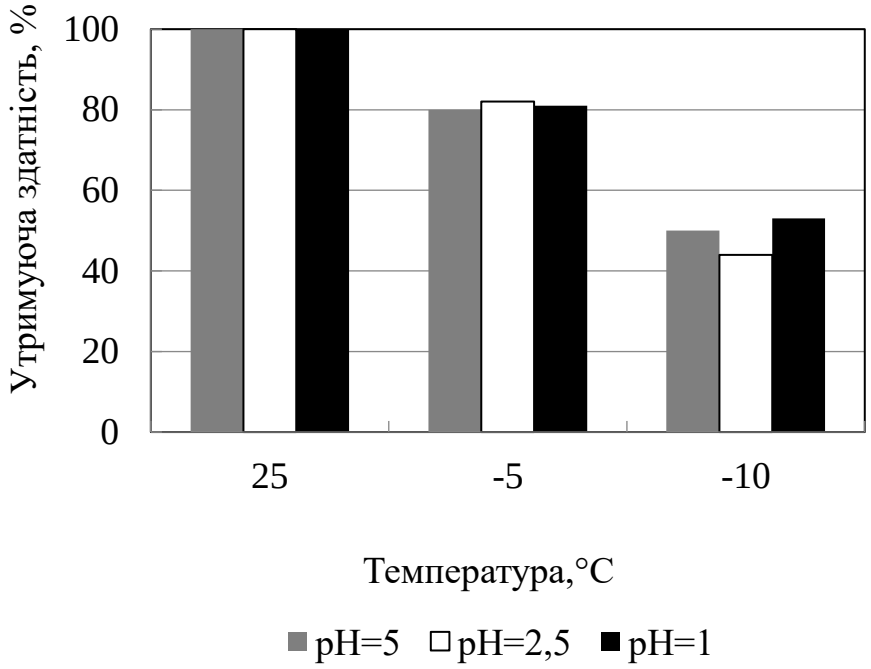


Рисунок 4.34 – Залежність утримуючої здатності залишкового бітуму від pH емульсії та температури випробування

Експериментально встановлено, що водневий показник більш суттєво вплинув на температуру розм’якшеності після прогрівання залишкового бітуму (рис. 4.35), ніж на показник утримуючої здатності.

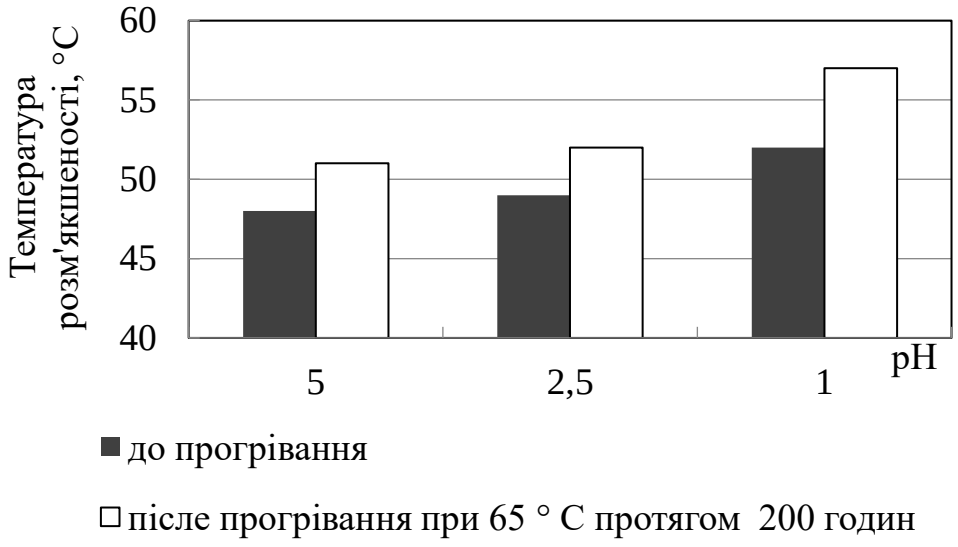


Рисунок 4.35 – Залежність температури розм’якшеності залишкового бітуму від pH

Із наведених даних видно, що зі зменшенням показника pH на 4 одиниці температура розм'якшеності збільшилася на 2 °С до прогрівання та на 6 °С після прогрівання залишкового бітуму.

4.4 Дослідження впливу водного катіонного латексу Butonal NS 198 на властивості бітумних катіонних емульсій та залишкового в'яжучого

Для виконання експериментальних досліджень виготовляли емульсії на основі різних емульгаторів, з різним вмістом бітуму та з різною швидкістю розпаду.

Модифікацію виготовлених катіонних дорожніх бітумних емульсій водним катіонним латексом Butonal NS 198 (3 % у перерахунку на полімер від маси бітуму) здійснювали шляхом їхнього змішування.

Результати порівняльних досліджень впливу тривалості зберігання на однорідність бітумних емульсій (БЕ) і модифікованих бітумних емульсій (МБЕ) на основі різних емульгаторів наведені на рисунку 4.36.

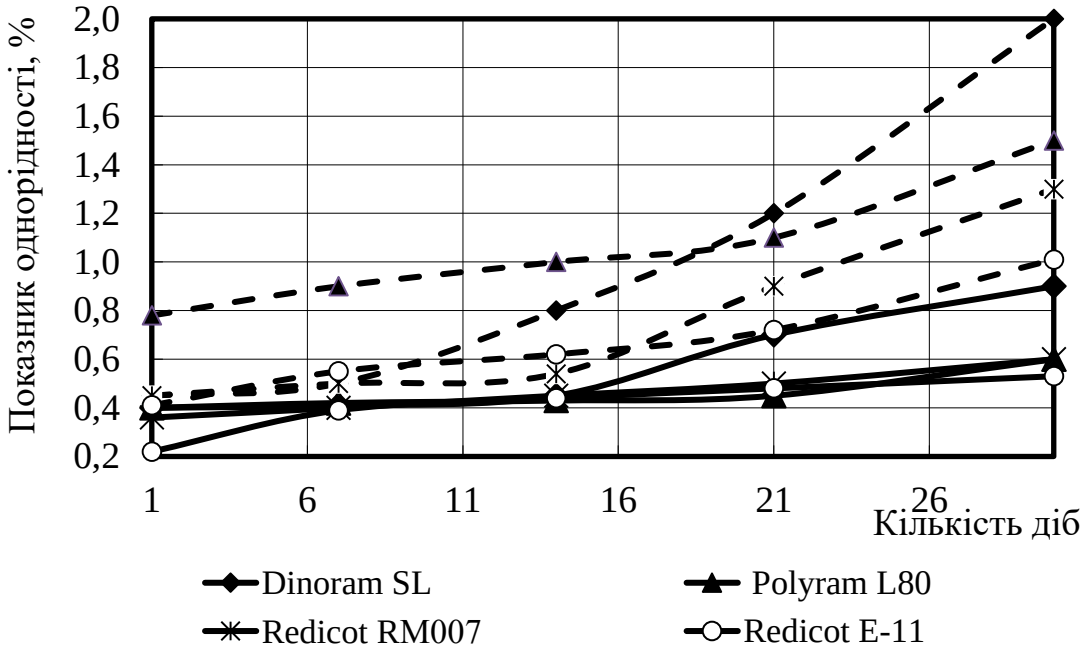


Рисунок 4.36 – Залежність показника однорідності емульсій від тривалості їхнього зберігання (суцільні лінії – БЕ, пунктирні – МБЕ)

Згідно з отриманими результатами всі бітумні емульсії на різних емульгаторах, порівняно з модифікованими бітумними емульсіями, мають кращі показники однорідності при зберіганні. Із наведених даних видно, найбільші значення показника однорідності на 30 добу властиві швидкорозпадній МБЕ на емульгаторі Dinoram SL (2 %). Серед БЕ найбільші значення показника однорідності на 30 добу теж властиві швидкорозпадній бітумній емульсії на емульгаторі Dinoram SL (0,9 %). Слід відмітити, що навіть при погіршенні показника однорідності на 30 добу, досліджувані емульсії не розпадалися. Причиною погіршення однорідності БЕ після їхньої модифікації водним катіонним латексом може бути те, що під час перемішування холодної емульсії з латексом стабільність адсорбованих молекул емульгатора дещо порушується, що призводить до часткової коалесценції крапель бітуму, до збільшення показника однорідності та погіршення стійкості при зберіганні.

Результати досліджень (рис. 4.37) свідчать по те, що збільшення загальної кількості водної фази після введення водного катіонного латексу в БЕ на різних емульгаторах, при однаковій їхній концентрації у складі емульсій (0,3 %), спричиняє незначне зменшення в'язкості МБЕ (до 1 с), порівняно з БЕ.

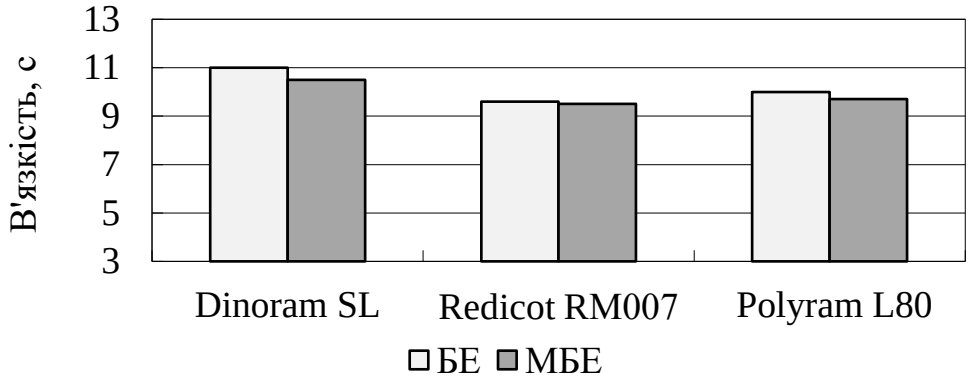


Рисунок 4.37 – Порівняння показників умовної в’язкості БЕ та МБЕ

Порівняльний аналіз результатів дослідження (рис. 4.38) впливу водного катіонного латексу Butonal NS 198 на швидкість розпаду досліджуваних бітумних емульсій (визначали за показниками індексу розпаду при змішування з кварцовим піском) вказує на зменшення швидкості розпаду МБЕ.

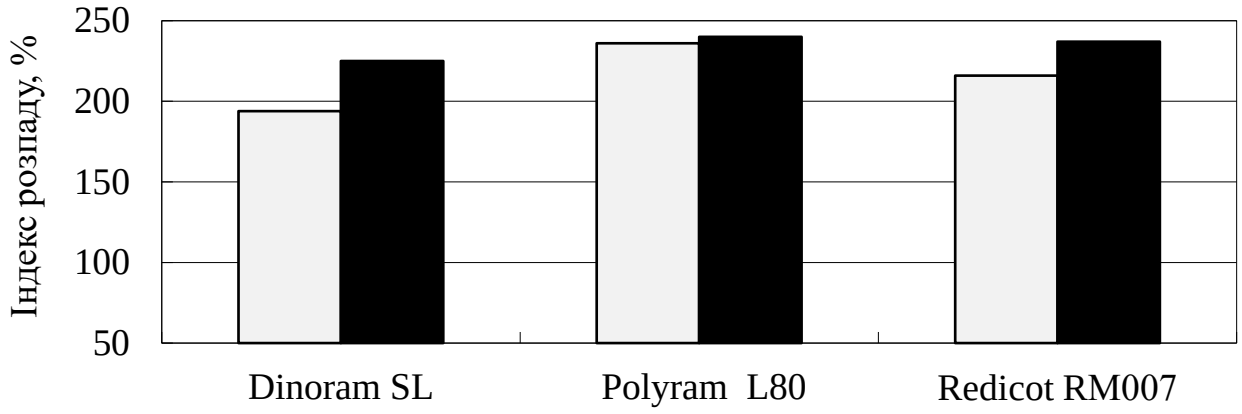


Рисунок 4.38 – Значення показників індексу розпаду бітумних та модифікованих бітумних емульсій на різних емульгаторах

При цьому для емульсій на різних емульгаторах, при однаковій їхній концентрації (0,3 %), швидкість розпаду змінюється по різному. Для емульсії на основі емульгатора Polyram L80 зростання показника індексу розпаду при змішуванні з піском відбулося на 4 %, на основі емульгатора Redicot RM007– 21 %, на основі емульгатора Dinoram SL – 31 %.

Для дослідження впливу водного катіонного латексу стирол-бутадієн-стиролу (марка Butonal NS 198) на поверхневі властивості катіонних дорожніх бітумних емульсій були виготовлені емульсії на основі різних емульгаторів з вмістом емульгатора 0,3 %, бітуму 60 % та полімеру 3 % від маси бітуму.

Порівняльний аналіз результатів дослідження крайового кута змочування та поверхневого натягу БЕ та МБЕ вказує на те, що для всіх емульгаторів спостерігається тенденція зменшення наведених показників в ряду бітумна емульсія (БЕ) – модифікована бітумна емульсія (МБЕ) – водна фаза (ВФ) (рис. 4.39 - 4.40).

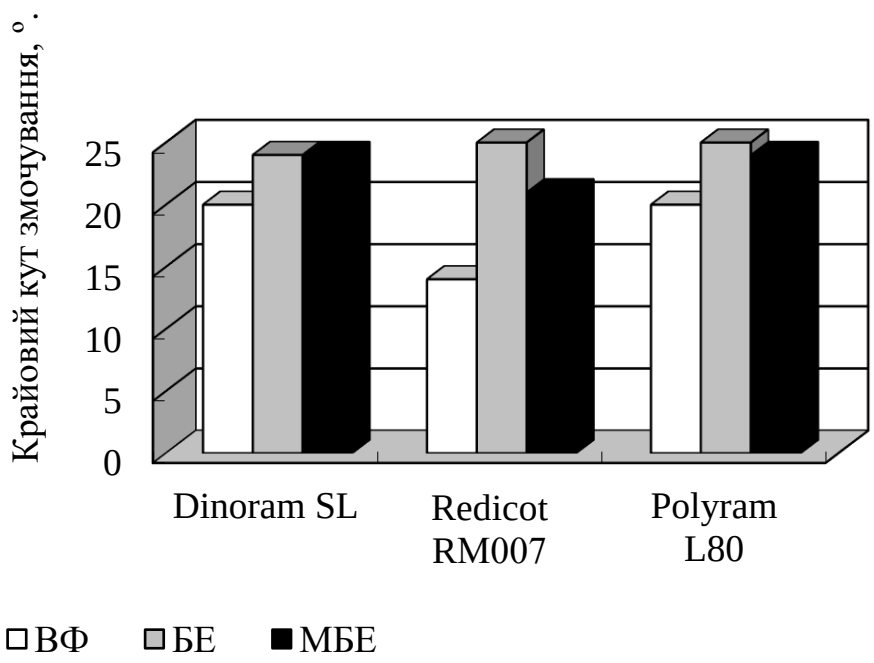


Рисунок 4.39 – Величини крайового кута змочування водними фазами, бітумними та модифікованими бітумними емульсіями поверхні скляної пластини

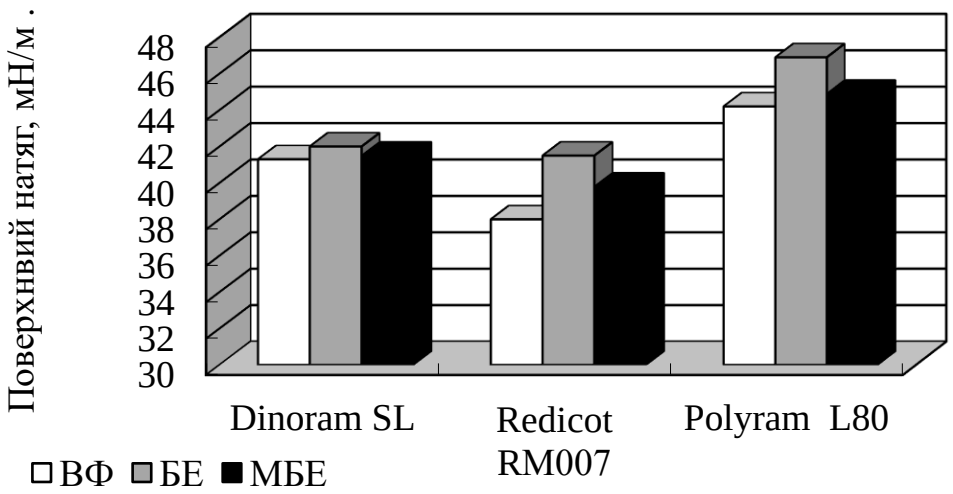


Рисунок 4.40 – Величини поверхневого натягу водних фаз, бітумних та модифікованих бітумних емульсій

Із наведених результатів досліджень видно, що менші значення показника поверхневого натягу та крайового кута змочування властиві водним фазам та емульсіям на основі емульгатора Redicot RM007.

Зниження величини поверхневого натягу та крайового кута змочування МБЕ, порівняно з БЕ, може бути пов’язане з впливом поверхнево-активних речовин, що входять до складу катіонного водного латексу. Очевидно, що це покращить здатність МБЕ змочувати поверхню, на яку вони наносяться.

За результатами досліджень встановлено, що модифікація БЕ водним катіонним латексом (за концентрації 3 % від маси бітуму) викликає зростання теплостійкості залишкового в’яжучого (рис. 4.41).

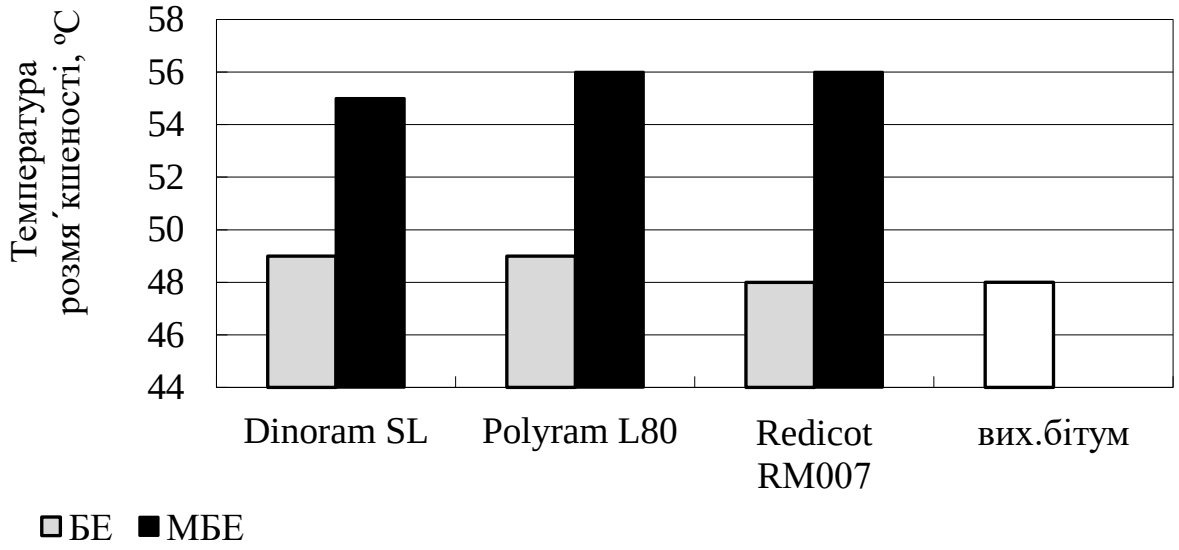


Рисунок 4.41 – Значення температур розм’якшеності залишкових в’яжучих, утворених з БЕ та МБЕ на різних емульгаторах

Утвореним з МБЕ залишковим в’яжучим властиве зростання значення температури розм’якшеності на 6 - 8 °С.

При цьому, серед досліджуваних МБЕ найменше значення температури розм'якшеності властиве залишковому в'яжучому, яке було утворено з емульсії на емульгаторі Dinoram SL (55 ºС).

Глибина проникності голки за температури 25 ºС для залишкового бітуму, утвореного з БЕ, в середньому на 7 мм$^{-1}$ більша ніж у вихідного бітуму, а для бітумного в’яжучого, утвореного з МБЕ, менша в середньому на 5 мм$^{-1}$ (рис. 4.42).

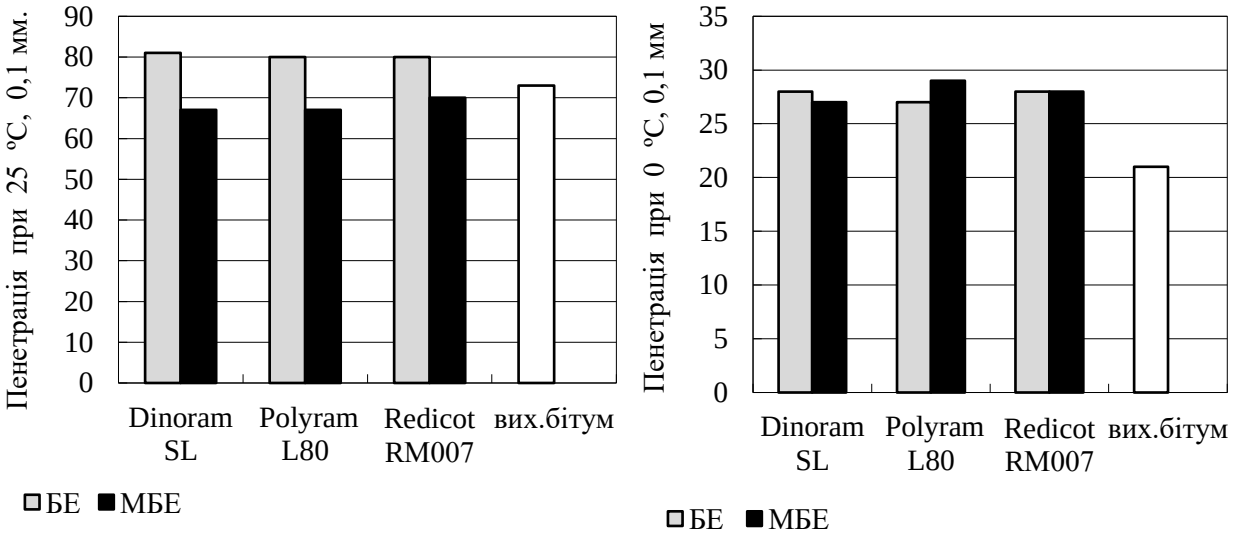


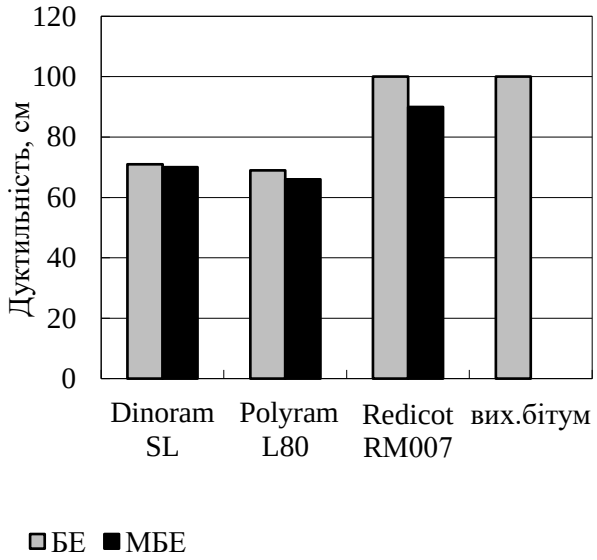
Рисунок 4.42 – Значення показника пенетрації залишкових бітумів та в’яжучих, утворених з БЕ та МБЕ на різних емульгаторах

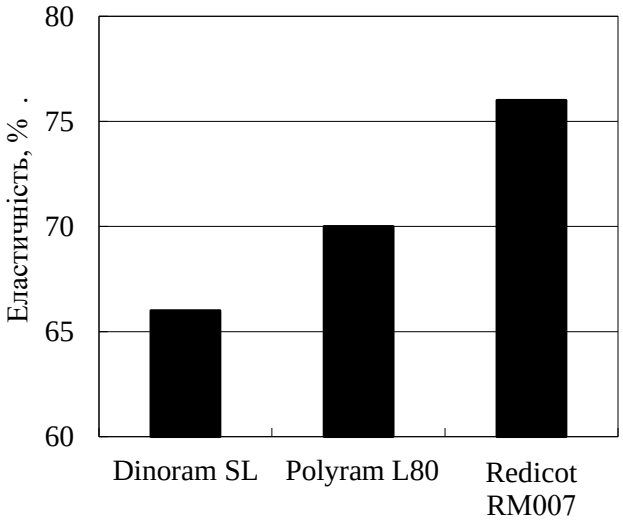
З наведених на рисунку 4.42 даних видно, що залишкові бітуми з БЕ та залишкові в’яжучі з МБЕ майже не відрізняються за величиною пенетрації за температури 0 °С (різниця становить 2 мм$^{-1}$).

Експериментально встановлено, що модифікація БЕ водним катіонним латексом викликає зменшення значення дуктильності залишкового в’яжучого (до 10 см порівняно з залишковим бітумом утвореним з БЕ), при цьому в’яжучому стає властива еластичність.

Для залишкових бітумів, утворених з БЕ на основі емульгаторів Dinoram SL та Polyram L80, значення дуктильності є нижчими, ніж у вихідного бітуму на 30 см (рис. 4.43).

Видно, що за величиною еластичності залишкові в’яжучі, що були утворені зі всіх досліджуваних МБЕ, відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-135, що висуваються до бітумів модифікованих полімерами марки БМПЗ 60/90-56 [8].





а) б)

Рисунок 4.43 – Значення дуктильності (а) та еластичності (б) за температури 25 °С залишкових бітумів, утворених з БЕ, та в’яжучих, утворених з МБЕ

Результати експериментального визначення показників водостійкості залишкових бітумів і залишкових в’яжучих, утворених з БЕ та МБЕ, з поверхнею мінеральних матеріалів представлені на рисунках 4.44- 4.45.

а) б) в)

а) МБЕ на основі емульгатора Polyram L80;

б) БЕ основі емульгатора Polyram L80; (в) вихідний бітум.

Рисунок 4.44 – Загальний вигляд поверхні зерен гранітного щебню після випробування на зчеплюваність за ДСТУ Б В.2.7-129

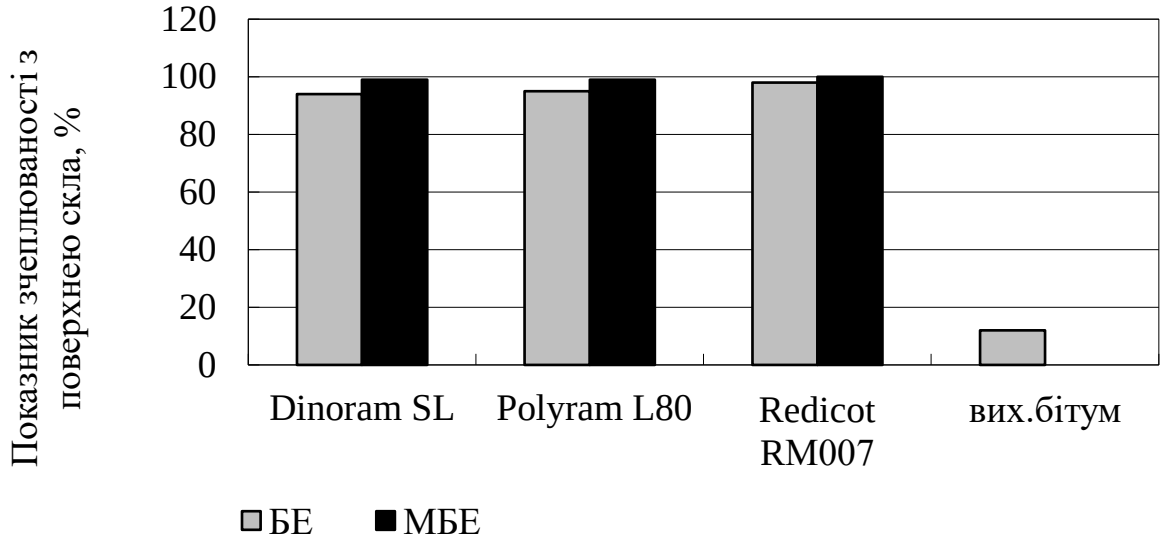


Рисунок 4.45 – Значення показника зчеплюваності з поверхнею скляних пластин залишкових бітумів, утворених з БЕ, та залишкових в'яжучих, утворених з МБЕ

Отримані результати досліджень вказують на те, що величина показника зчеплюваності з поверхнею гранітного щебеню залишкового бітуму, порівняно з вихідним бітумом марки БНД 70/100, збільшилась в середньому на 85 %, а залишкового в'яжучого на 95 %.

При цьому, величина показника зчеплюваності залишкових в'яжучих, з поверхнею скляних пластин, порівняно з вихідним бітумом марки БНД 70/100, збільшилась в середньому на 85 %, а порівняно із залишковим бітумом в середньому на 5 %.

Результати експериментального визначення утримуючої здатності за методом Віаліт, як одного з основних критеріїв прогнозування довговічності тонких захисних шарів, влаштованих за технологією поверхневої обробки з використання БЕ та МБЕ наведені на рисунках 4.46 та 4.47.

Згідно з даними, що наведені на рисунках 4.46 - 4.47, залишкові в'яжучі, що утворені з МБЕ, характеризуються більшою величиною утримуючої здатності в діапазоні температур від мінус 5 до мінус 25 °С, порівняно з залишковими бітумами, утвореними з БЕ.

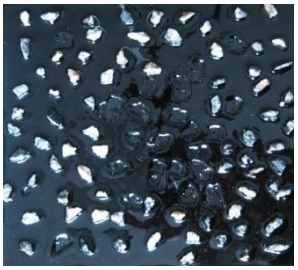
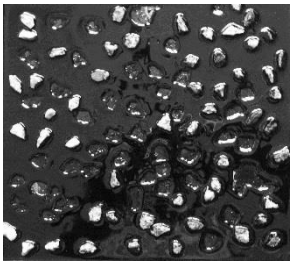
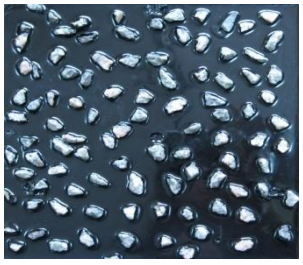
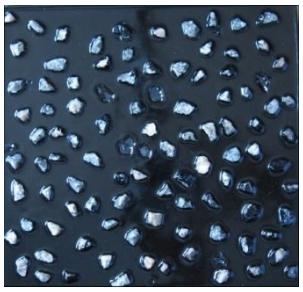
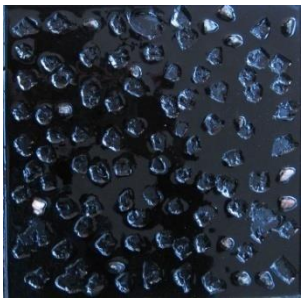
Температура випробування	Загальний вигляд пластин після випробування	
	БЕ	МБЕ
мінус 5 °С		
мінус 10 °С		
мінус 15 °С		
мінус 25°С		

Рисунок 4.46 – Загальний вигляд пластин після визначення утримуючої здатності на прикладі залишкового в’яжучого, утвореного з МБЕ на емульгаторі Redicot RM007

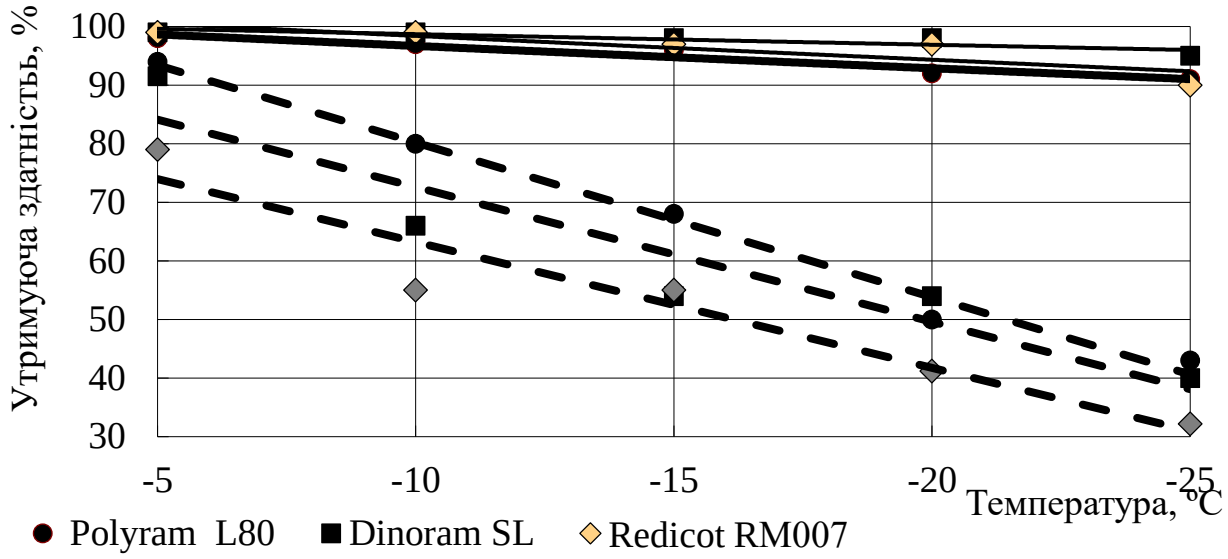
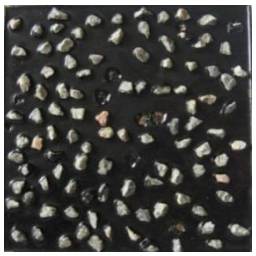


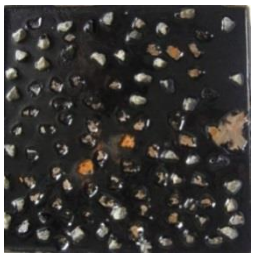
Рисунок 4.47 – Температурні залежності утримуючої здатності залишкових бітумів і в'яжучих (суцільні лінії – утворені з МБЕ, пунктирні – утворені з БЕ)

За результатами випробування за методом Віаліт залишкових бітумів і в'яжучих з немодифікованих та модифікованих бітумних емульсій за позитивних температур (25 °С та 50 °С) встановлено, що їм характерна абсолютна утримуюча здатність.

Здатність зберігати стабільними значення показника утримуючої здатності перевіряли після впливу циклічного заморожування-відтавання пластин з приживленими зернами щебеню залишковим бітумом, утвореним з БЕ на основі емульгатора Redicot RM007 та залишковим в'яжучим, утвореним з МБЕ на основі емульгатора Redicot RM007. Зразки-пластини з приживленими зернами щебеню поміщали у морозильну камеру і витримували за температури мінус 10 °С протягом 24 годин. Після цього пластини поміщали у водяну баню де витримували протягом 24 годин за температури плюс 5 °С. Потім знову за температури мінус 10 °С протягом 24 годин. Після таких циклів заморожування – відтавання виконували випробування пластин за методом Віаліт. Результати дослідження впливу циклічного заморожування – відтавання на зміну показників утримуючої здатності наведені на рисунках 4.48 – 4.49.



Катіонна бітумна емульсія модифікована 3 % Butonal NS 198



Катіонна бітумна емульсія

Рисунок 4.48 – Загальний вигляд пластин після випробування за температури мінус 10 °С (після 5 циклів заморожування-відтавання)

Для МБЕ показник утримуючої здатності після випробування в середньому склав 92 %, а для БЕ – 60 %.

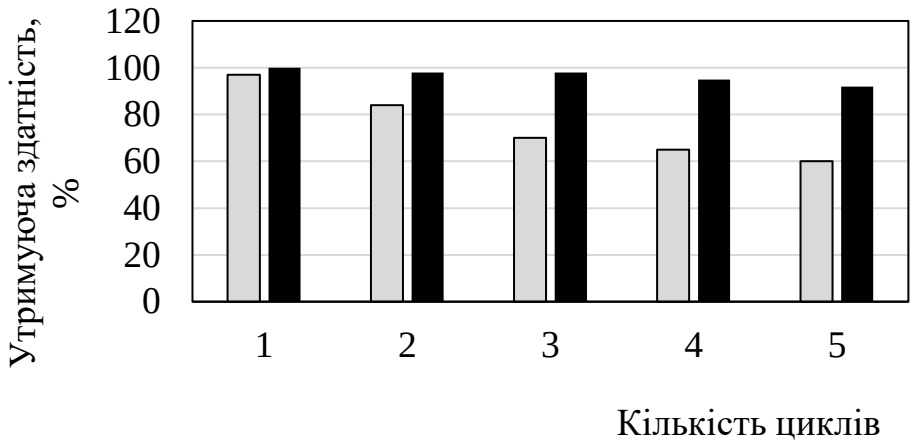


Рисунок 4.49 – Залежність утримуючої здатності залишкового в’яжучого від кількості циклів заморожування-відтавання. Чорний колір – утворений з МБЕ, сірий колір – з БЕ. Температура випробування мінус 10 °С

Оцінювання впливу старіння залишкових в’яжучих, утворених з МБЕ на різних емульгаторах, на їхні властивості проводили після прогрівання за температури 65 °С протягом 200 годин. З наведених в таблиці 4.6 даних видно, що показник зчеплюваності з поверхнею скляних пластин залишається стабільним, а температура розм’якшеності збільшилась всього на 4 - 6 °С.

Таблиця 4.6 – Фізико-механічні властивості залишкового в’яжучого, утвореного з МБЕ на різних емульгаторах

Назва показника властивостей	Назва емульгатора		
	Redicot E-11	Polyram L80	Redicot RM007
Зміна властивостей після прогрівання при 65 °С протягом 200 годин: зміна маси , %	0,11	0,19	0,18
зміна температури розм’якшеності, ° С	4	6	6
зчеплюваність з поверхнею скла, %	100	99	99

Для дослідження впливу різних концентрацій водного катіонного латексу Butonal NS 198 на властивості БЕ використовували приготовлену середньорозпадну бітумну емульсію на основі емульгатора Redicot EM-44. Концентрація емульгатора в емульсії складала 0,3 %. Для приготування емульсії використовували окиснений нафтовий дорожній бітум марки БНД 70/100, вміст якого в емульсії складав 60 %. Концентрація водного латексу в емульсії становила 1,5; 3,0; 4,5 і 6,0 % від маси бітуму.

Результати досліджень властивостей виготовлених МБЕ вказують на те, що збільшення концентрації латексу до 6 % майже не впливає (результати знаходяться в межах похибки вимірювання) на показники їхніх фізико-механічних властивостей (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Фізико-механічні властивості катіонних бітумних емульсій з різною концентрацією катіонного латексу Butonal NS 198

Назва показника властивостей	Концентрація Butonal NS 198 від маси бітуму, %				
	0	1,5	3	4,5	6
Умовна в’язкість за температури 20 °С на приладі з діаметром отвору 4 мм, с	10	10	9,5	9,5	9
Однорідність (залишок на ситі № 0,14), %	0,3	0,35	0,4	0,4	0,4
Показник концентрації водневих іонів, pH	2	2,2	2,3	2,3	2,3
Зчеплюваність залишкового в’яжучого з поверхнею щебеню, %	90	92	93	95	96
Індекс розпаду (кварцовий пісок), %	252	258	260	260	260

Дослідження впливу вмісту водного катіонного латексу на фізико-механічні властивості залишкового в’яжучого, утвореного з МБЕ, показали (табл. 4.8), що при збільшенні концентрації латексу до 6 % температура розм'якшеності в’яжучого збільшилась на 16 °С, а глибина занурення голки за температури 25 °С зменшився на 26 $мм^{-1}$. При збільшенні концентрації латексу від 1,5 % до 6 % показник еластичності збільшився на 12 %.

Таблиця 4.8 – Вплив модифікації БЕ водним латексом на фізико-механічні властивості залишкового в’яжучого

Назва показника властивостей	Концентрація Butonal NS 198 від маси бітуму, %				
	0	1,5	3	4,5	6
Глибина проникності голки, $мм^{-1}$ за температури 25 °С 0 ˚С	86 28	80 28	78 27	70 27	60 27
Температура розм’якшеності за кільцем і кулею, °С	47	52	54	58	63
Розтяжність (дуктильність), за температури 25 °С, см	60	50	45	45	40
Еластичність, %	-	65	68	72	74
Зчеплюваність з поверхнею скла, %	92	94	95	95	97

Дослідження температурної чутливості показника еластичності залишкових в’яжучих, утворених з МБЕ показали, що із збільшенням температури від 0 до 30 °С, незалежно від вмісту латексу, показник еластичності збільшується (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Показник еластичності залишкового в'яжучого за різних температур випробування

Концентрація Butonal NS 198 від маси бітуму, %	Температура випробування, ºС			
	0	10	20	30
1,5	42	60	65	71
3	44	61	68	82
4,5	48	70	72	80
6	52	68	72	80

Найбільш чутливим до впливу температури виявилося залишкове в'яжуче з 3 % водного латексу Butonal NS 198, для якого збільшення еластичності склало 38 % в досліджуваному діапазоні температур.

Наведені в таблиці 4.10 результати досліджень свідчать про підвищення утримуючої здатності залишкового в'яжучого, утвореного з МБЕ, зі збільшенням концентрації водного латексу та зниженням температури випробування.

Таблиця 4.10 – Значення показника утримуючої здатності зерен щебеню залишковим бітумом і залишковими в'яжучими за від'ємних температур

Концентрація Butonal NS 198 від маси бітуму, %	Температура випробування, ºС		
	мінус 5	мінус 10	мінус 25
0	88	52	30
1,5	94	71	34
3	95	90	57
4,5	99	96	73
6	100	98	95

За температури мінус 25 °С збільшення значення показника утримуючої здатності зерен щебеню залишковим в'яжучим з вмістом 6 % латексу склало 68 %, порівняно з залишковим бітумом без латексу.

4.5 Висновки по розділу

За отриманими результатами досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Поверхневі властивості водних фаз та емульсій на їх основі (крайовий кут змочування, поверхневий натяг, робота сил адгезії, робота сил змочування) мають близькі значення, тому обґрунтування вибору емульгатора для приготування емульсій можна проводити на основі аналізу поверхневих властивостей водних фаз.

2. Експериментально підтверджено, що показники роботи сил адгезії бітумних емульсій та показники водостійкості залишкових бітумів, утворених внаслідок їх розпаду, є взаємно пов’язаними. Показано, що при більших значеннях роботи сил адгезії бітумної емульсії спостерігаються більші значення показника зчеплюваності залишкового в’яжучого з поверхнею зерен щебеню для всіх досліджуваних емульгаторів.

3. Встановлено, що зміна величини водневого показника (pH) бітумної емульсії не призводить до суттєвих змін водостійкості залишкового бітуму, утвореного внаслідок її розпаду, на поверхні щебеню та скляних пластин. Дослідженнями встановлено, що показник утримуючої здатності зерен щебеню залишковим бітумом, визначений за методом Віаліт, є практично не чутливим до величини pH емульсій. Показано, що зі зниженням температури випробування, не залежно від величини показника pH, спостерігається зменшення показника утримуючої здатності зерен щебеню залишковими бітумами, утвореними внаслідок розпаду досліджуваних емульсій.

4. За результатами досліджень встановлено, що модифікація бітумних емульсій водним катіонним латексом (за його концентрації 3 % від маси бітуму) викликає зростання теплостійкості залишкового в’яжучого, утвореного внаслідок їхнього розпаду. Утвореним з модифікованих латексом емульсій залишковим в’яжучим властиве зростання температури розм’якшеності на 6 - 8 °С. Показано, що найменше значення температури розм'якшеності властиве залишковому бітуму, який було утворено з емульсії на емульгаторі Dinoram SL (55 ^{o}C).

5. Експериментально встановлено, що модифікація бітумних емульсій водним катіонним латексом викликає зменшення значення дуктильності залишкового в’яжучого (на 10 см порівняно з залишковим бітумом утвореним з не модифікованої бітумної емульсії), при цьому в’яжучому стає властива еластичність. За величиною еластичності залишкові в’яжучі, що були утворені зі всіх досліджуваних модифікованих бітумних емульсій, відповідають вимогам

ДСТУ Б В.2.7-135, що висуваються до бітумів модифікованих полімерами марки БМПЗ 60/90-56.

6. Показано, що залишкові в'яжучі, утворені внаслідок розпаду модифікованих латексом емульсій, характеризуються більшою величиною утримуючої здатності в діапазоні температур від мінус 5 до мінус 25 °С, порівняно з залишковими бітумами, утвореними з не модифікованих бітумних емульсій. Встановлено, що показник утримуючої здатності зерен щебеню залишковими в'яжучими, утвореними внаслідок розпаду модифікованих емульсій, є менше чутливим до впливу циклічного заморожування-відтавання, порівняно з залишковими бітумами, утвореними внаслідок розпаду не модифікованих емульсій.

7. Встановлено, що збільшення концентрації латексу у складі бітумної емульсії до 6 % майже не впливає (результати знаходяться в межах похибки вимірювання) на показники їхніх фізико-механічних властивостей, проте суттєво позначаються на теплостійкості залишкових в'яжучих, утворених внаслідок розпаду модифікованих емульсій. Дослідження впливу вмісту водного катіонного латексу на фізико-механічні властивості залишкового в'яжучого, утвореного з МБЕ, показали, що у разі збільшення концентрації латексу до 6 % теплостійкість в'яжучого за показником температури розм'якшеності збільшилась на 16 °С. За температури мінус 25 °С збільшення значення показника утримуючої здатності зерен щебеню залишковим в'яжучим з вмістом 6 % латексу склало 68 %, порівняно з залишковим бітумом без латексу. Встановлено, що температурна чутливість показника еластичності, а також показника утримуючої здатності зерен щебеню залишковим в'яжучим, утвореним внаслідок розпаду МБЕ з 6 % латексу, є найменшою, порівняно із залишковими в'яжучими, утвореними внаслідок розпаду МБЕ з 4,5 %, 3 % та 1,5 % латексу.

8. Результати досліджень, які викладені в четвертому розділі, частково представлені у публікаціях [37, 39, 42, 44, 45, 46, 48, 50, 75].

РОЗДІЛ 5
ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для впровадження результатів дослідження розроблені рекомендації щодо технології модифікації дорожніх бітумних емульсій водним латексом, здійснено впровадження результатів у виробничих умовах, визначена економічна ефективність застосування модифікованих латексом емульсій для влаштуванні тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки.

Результати дисертаційного дослідження були використані при розробці ДСТУ Б В.27-129:2013 «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови»; «Посібник до ДСТУ Б В.27-129:2013 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві».

Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті у лекційних курсах «Технологія будівництва автомобільних доріг», «Інноваційні технології будівництва автомобільних доріг» та у дипломне проектування для студентів, що навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

5.1 Рекомендації щодо технології модифікації дорожніх бітумних емульсій водним катіонним латексом

5.1.1 Вступ

Модифікація бітумних емульсій водним латексом значно покращує властивості залишкового в’яжучого, а саме: підвищує температуру розм’якшеності, водостійкість та надає в’яжучому еластичності. Шарам дорожнього одягу, які влаштовані з використанням модифікованих емульсій, властиві підвищена теплостійкість, зсувостійкість, водо- та морозостійкість.

5.1.2 Сфера застосування

5.1.2.1 Рекомендації поширюються на технологію приготування модифікованих бітумних емульсій шляхом додавання водного латексу в готову бітумну емульсію

5.1.2.2 Рекомендації щодо технології модифікації дорожніх бітумних емульсій водним латексом можуть бути використані в практичній діяльності дорожніми підприємствами, які виробляють бітумні емульсії.

5.1.3 Нормативні посилання

У цих рекомендаціях є посилання на такі нормативні документи:

ДСТУ 4454:2005 Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання;

ДСТУ Б В 2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови;

ДСТУ Б В.2.7-135:2014 Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови;

ДСТУ Б А.1.2-4:2009 Оцінювання відповідності у будівництві згідно з Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд. Реєстр декларацій відповідності, сертифікатів та бланки документів;

ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (ССБП. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки);

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ССБП. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони);

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (ССБП. Пожежна безпека. Загальні вимоги);

ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об’єктів будівництва;

НПАОП 63.21-3.03-08 Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам дорожнього господарства;

ДСанПіН 2.2.7.029-99 Державні санітарні правила та норми. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення;

ДСанПиН 4630-88 Санітарні правила и норми охорони поверхневих вод від забруднення.

5.1.4 Терміни та визначення понять

5.1.4.1 Модифікована бітумна емульсія

Бітумна емульсія, що має в своєму складі полімер або латекс в кількості, необхідній для поліпшення властивостей залишкового в'яжучого.

5.1.4.2 Латекс

Водна дисперсія полімеру.

5.1.5 Характеристика вихідних матеріалів

5.1.5.1 Діаметр часток полімеру в дисперсії становить від 0,1 до 3 мкм. Концентрація полімеру у дисперсії може складати від 50 % до 70 %. Коагулює полімер внаслідок випаровування води. Стабільність дисперсійної системи забезпечують поверхнево-активні речовини (ПАР).

5.1.5.2 В залежності від заряду іону ПАР розрізнюють аніонні та катіонні дисперсії полімеру у воді. Для модифікації аніонних емульсій використовують аніонні дисперсії полімерів, для модифікації катіонних емульсій – катіонні дисперсії. Перелік водних катіонних латексів, що використовують для модифікації катіонних бітумних емульсій наведено в таблиці 5.1.

5.1.5.3 Кількість водного латексу, який додається в готову емульсію, розраховується за формулою :

$$m_л = \frac{m_е \cdot \omega_б \cdot \omega_п}{100 \cdot \omega_{пл}}, \quad (5.1)$$

де $m_л$- маса водного латексу, кг;

$m_е$ - маса емульсії, кг;

$\omega_б$- вміст бітуму в емульсії, %

$\omega_п$- вміст полімеру від маси бітуму, %

$\omega_{пл}$- вміст полімеру в водній дисперсії, %

Таблиця 5.1– Перелік водних катіонних латексів, що використовують для модифікації катіонних бітумних емульсій

Назва продукта	Виробник	Хімічний склад	Загальний вміст твердої речовини, %	pH латексу	Рекомендована концентрація, %
Algotex C	Algol Chemical (Фінляндія/Швеція) ТзОВ «Пролог»	Водна дисперсія натурального каучукового латексу	65	4,5	2-5 (від маси емульсії)
Toptex A		Водна дисперсія стирол – бутадієнового синтетичного каучуку	64±1	4,5-5,5	
Toptex B				4,0-4,5	
Iterlatex 1140-S	Iterchimica (Італія)	Водна дисперсія натурального каучукового латексу	60	11,0-12,0	1-4 (від маси емульсії)
Iterlatex AF		Водна дисперсія стирол-бутадієну	58	3,0	1-4 (від маси емульсії)
Butonal NS 198	BASF (Німеччина)	Водна дисперсія сополімеру бутадієн - стиролу	63-65	4,5-5,2	2-8 (від маси бітуму)
Butonal NX198			63-65	5,0-5,6	-
Ultrapave 65K	Textile Rubber & Chemical Company (США)	Водна дисперсія сополімеру бутадієн - стиролу	63	5,3	-

5.1.5.4 Зберігають водний латекс в пластмасових ємностях за температури 10-30 °С.

5.1.5.5 За піноутворення при виробництві модифікованих бітумних емульсій необхідно використовувати піногасники (наприклад: Лумітен Е-l,

Бевалоїд 6575 GM та інш.) Норма добавки складає 0,05-0,2 % з розрахунку на модифіковану бітумну емульсію.

5.1.6 Технічні вимоги до модифікованих бітумних емульсій

Емульсії бітумні модифіковані повинні відповідати ДСТУ Б В 2.7-129:2013 «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови».

5.1.6.1 Масова частка залишкового в’яжучого (бітуму з емульгатором і полімером) може бути в межах 38-67 %.

5.1.6.2 Умовна в'язкість бітумної емульсії при 20 °С повинна знаходитися в межах 15-70 с.

5.1.6.3 Водневий показник (pH) приготованої бітумної емульсії повинен знаходитися в межах 1,5-6,5.

5.1.6.4 Показник однорідності емульсії не повинен перевищувати 0,4 %.

5.1.6.5 Фізико-механічні властивості залишкового в’яжучого виділеного з модифікованих емульсій повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-135:2014 «Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови».

5.1.7 Технологічні особливості приготування модифікованих емульсій шляхом додавання водного латексу безпосередньо в бітумну емульсію.

5.1.7.1 При модифікації готової бітумної емульсії водним латексом при розрахунках складу емульсії необхідно збільшити вміст сухих речовин. За рахунок води, що входить до складу водного латексу, зменшується вміст бітуму з емульгатором та відповідно і в’язкість емульсії.

5.1.7.2 Процес приготування модифікованої бітумної емульсії передбачає наступні стадії:

- прийом і підготовку бітуму;

- приготування концентрату водного розчину емульгатора з кислотою (водна фаза);

- розведення водою концентрату ;

- змішування бітуму та водної фази у змішувачі;

- змішування водного катіонного латексу Butonal NS 198 з готовою емульсією.

Технологічна схема отримання модифікованої бітумної емульсії при введенні латексу в готову емульсію представлена на рисунку 5.1.

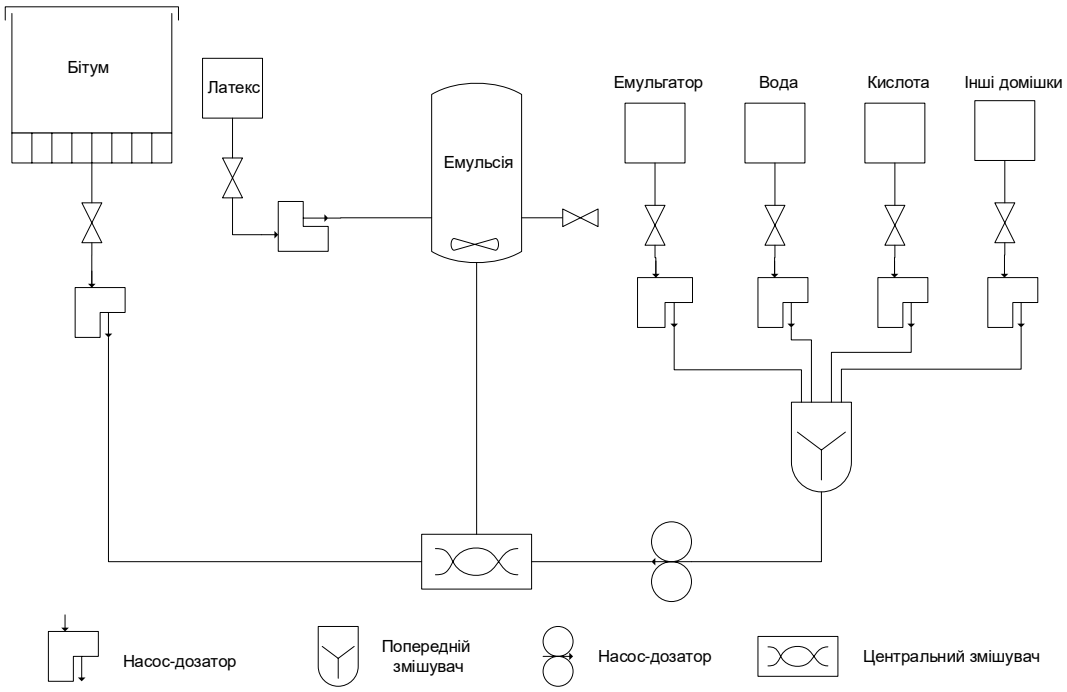


Рисунок 5.1 – Технологічна схема отримання модифікованої бітумної емульсії при введенні водного латексу в готову емульсію

5.1.7.3 Для перемішування емульсії з водним катіонним латексом можна використовувати циркуляційний насос або лопатеві чи пропелерні мішалки.

5.1.7.4 Час перемішування та кількість обертів треба підібрати так, щоб забезпечити утворення однорідної рідини та запобігти коагуляції емульсії.

5.1.7.5 Трубопроводи для подачі емульсії та латексу повинні мати зворотні клапани для запобігання зворотному потоку у разі відмови насоса або закупорки емульсійного трубопроводу.

5.1.8 Контроль якості і правила приймання робіт

5.1.8.1 Модифіковані емульсії приймають відділом технічного контролю організації чи підприємства, що виробляє продукцію.

5.1.8.2 Приймання модифікованої емульсії здійснюють партіями. За партію приймають кількість емульсії однієї марки, що виробляють з сировини однієї

партії за одним технологічним регламентом протягом однієї зміни та супроводжують єдиним документом про відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7 - 129.

5.1.8.3 Відбір проб бітумної емульсії повинен проводитися відповідно до ДСТУ Б В.2.7 -129. Доцільно використовувати спеціальний пробовідбірник - трубу з краном, який врізаний в бокову стінку ємності для зберігання модифікованої бітумної емульсії. Кінець труби, який занурений в емульсію, повинен знаходитися по висоті посередині ємкості та не менше чим на 1/3 від стінки ємності для зберігання.

5.1.8.4. Для перевірки якості модифікованої бітумної емульсії проводять приймально-здавальні, періодичні та сертифікаційні випробування.

Приймально-здавальні випробування включають візуальну оцінку, визначення показника pH, вмісту в'яжучого, показника однорідності, умовної в'язкості, визначення марки емульсії.

Періодичний контроль здійснюється не рідше одного разу на квартал і при кожній зміні складових або технології приготування. Включає визначення стійкості при зберіганні, зчеплення з мінеральними матеріалами та визначення фізико-механічних властивостей залишкового в'яжучого.

Сертифікаційні випробування проводять відповідно до вимог ДСТУ Б А.1.2-4:2009.

5.1.8.5 При відвантаженні модифікованої бітумної емульсії споживачеві кожен транспортний засіб супроводжують паспортом-накладною, в якій вказують: найменування підприємства-виробника; дату виготовлення; зовнішній вигляд і марку емульсії; вміст залишкового в'яжучого.

5.1.9 Вимоги безпеки і охорони навколишнього середовища

5.1.9.1 Емульсії катіоні дорожні модифіковані за ступенем впливу на організм людини згідно з ГОСТ 12.1.007 належать до 4-го класу небезпеки. Канцерогенної дії не мають. Мають слабку кумулятивну дію.

5.1.9.2 Водний катіонний латекс Butonal NS 198 згідно ГОСТ 12.1.005 відноситься до малонебезпечних речовин, роботи з ним можна проводити без додаткових мер безпеки, крім загальноприйнятих.

5.1.9.3 Модифіковані емульсії не горючі речовини згідно з ГОСТ 12.1.004 та ДБН В.1.1-7, не мають температури спалаху та займання. Емульсії не горять і не вибухають при взаємодії з водою та киснем повітря.

5.1.9.4 Робітники, які займаються приготуванням і використанням модифікованої емульсій повинні бути забезпечений засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 63.21-3.03-08, що затверджені в установленому порядку.

5.1.9.5 В разі попадання модифікованої емульсії на одяг, обличчя чи руки слід швидко змити її холодною водою, залишки бітуму зняти гасом або вазеліном, а потім вимити це місце водою з милом.

5.1.9.6 При приготуванні, транспортуванні та використанні модифікованих емульсій необхідно дотримуватись вимог ДСанНПіН 2.2.7.029 щодо недопущення забруднення ґрунтів та водоймищ.

5.1.9.7 Порядок накопичення, транспортування, знешкодження та поховання емульсій, не кондиції та інших відходів, що утворюються в процесі приготування і використання емульсій, повинен відповідати вимогам ДСанПіН 4630.

5.1.10 Зберігання і транспортування

5.1.10.1 Модифіковані бітумні емульсії зберігають переважно в циліндричних ємностях. Ємності для зберігання модифікованої бітумної емульсії мають бути чистими, без залишків бітуму і будь-яких інших матеріалів. Ємності мають бути заземлені.

5.1.10.2 Неприпустимо змішування в одній ємності модифікованих бітумних емульсій різних класів або приготованих з використанням різних вихідних матеріалів.

5.1.10.3 З метою запобігання забрудненню модифікованої бітумної емульсії і випаровування води люки на даху ємкості для зберігання повинні щільно закриватися і мати повітряні клапани.

5.1.10.4 Ємності для зберігання бітумної емульсії необхідно забезпечити системою перемішування у вигляді циркуляційного насоса або лопатевої чи пропелерної мішалки. При перемішуванні і перекачуванні бітумних емульсій доцільно використовувати поршневі або відцентрові насоси. Шестерні насоси негативно впливають на властивості емульсії, тому їх використання, особливо для перемішування, небажано.

5.1.10.5 Наповнювати ємність і відбирати з неї емульсії слід знизу. У разі неможливості закачування ємностей для транспортування бітумної емульсії знизу її здійснюють зверху. При цьому шланг має бути опущений до дна.

5.1.10.6 Неприпустимо охолодження емульсії до температури нижче плюс 5 °С. Для забезпечення оптимальної температури зберігання ємності можна утеплити чи обладнати масляним, водяним або електричним підігрівом. Необхідно враховувати, що температура зберігання має бути близька до рекомендованої температури використання модифікованої бітумної емульсії.

5.1.10.7 Гарантійний термін зберігання модифікованих емульсій повинен складати не менше 1 місяця з дня виготовлення.

5.1.10.8 Наприкінці будівельного сезону звільнені сховища мають бути ретельно очищені від залишків емульсії.

5.1.10.9 Перед викачуванням з резервуару емульсію ретельно перемішують до однорідного стану. При заповненні ємностей для транспортування емульсію слід пропускати через сітчастий фільтр з отворами розміром 3 мм.

5.1.10.10 Для транспортування бітумних емульсій використовують автогудронатори, бітумовози, залізничні цистерни відповідно до вимог ДСТУ 4454.

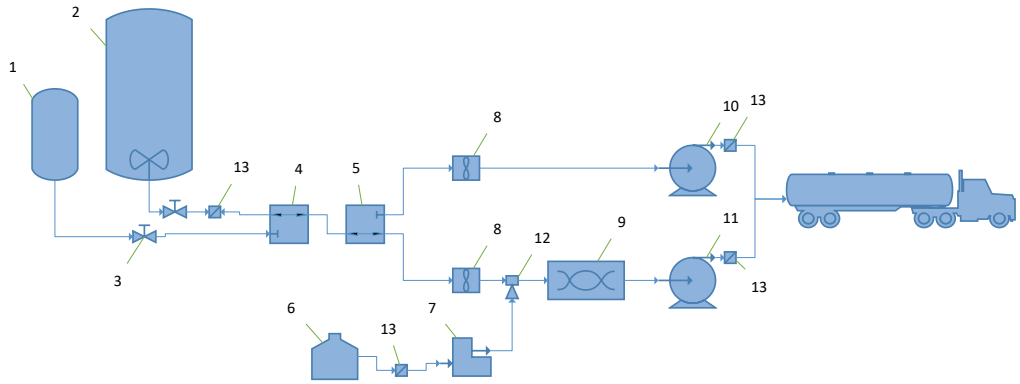
5.1.10.11 Ємність для транспортування повинна заповнюватися доверху з метою виключення збовтування і передчасного руйнування емульсії. Виконання цього положення особливе важно при здійсненні перевезень на далекі відстані.

5.2 Впровадження результатів дослідження

5.2.1 Рекомендації щодо модернізації емульсійної бази ТзОВ «Паркінг+»

З урахуванням загальних принципів викладених в підрозділі 5.1 та особливостей виробничого процесу розроблені рекомендації щодо модернізації існуючого устаткування для приготування бітумної емульсії, які реалізовані ТзОВ «Паркінг +».

Модернізація полягає в інтеграції в технологічну лінію комплексу емульсійної бази устаткування для дозованого введення водного латексу в готову бітумну емульсію. Особливості виробничого процесу підприємства передбачають, в залежності від сфери застосування, паралельне використання як модифікованої так і не модифікованої бітумної емульсії. Модифікацію бітумних емульсій водним катіонним латексом рекомендовано виконувати згідно зі схемою наведеною на рис. 5.2.



1 – ємність для промивної рідини; 2 – ємність для зберігання готової бітумної емульсії; 3 – запірна арматура; 4 – гідравлічний клапан емульсія/промивна рідина; 5 – гідравлічний клапан гілок видачі; 6 – ємність для зберігання латексу; 7 – насос-дозатор для латексу; 8 – витратомір; 9 – статична проточна мішалка; 10 – видача не модифікованої бітумної емульсії; 11 – видача модифікованої бітумної емульсії; 12 – інжектор; 13 - фільтр

Рисунок 5.2 – Схема прямоточного ведення водного латексу

Запропонована схема передбачає розділення лінії видачі готової продукції на дві гілки: перша для бітумної емульсії (10), друга для бітумної емульсії модифікованої водним латексом (11). Активація гілок видачі продукції відбувається шляхом перемикання гідравлічного клапана (5). Дозування латексу з ємності (6) відбувається через насос-дозатор (7) з урахуванням фактичної витрати емульсії, яка визначається витратоміром (8). Введення водного латексу відбувається безпосередньо в магістраль з емульсією через форсунку інжектора (12).

Подальше перемішування латексу з готовою бітумною емульсією (2) відбувається в проточній мішалці (9), після чого готова продукція відвантажується через відцентровий насос (11) для подальшого використання. Завершальною операцією циклу є промивання системи водним розчином емульгатора з кислотою, що подається з додаткової ємності (1). Перемикання системи в режим промивання здійснюється з використанням гідравлічного клапана (4). Утилізація промивальної рідини здійснюється згідно з вимогами ДСанПіН 4630. Передбачено фільтрацію бітумної емульсії проточним сітчастим фільтром розміром 3 мм при заборі з ємності для зберігання та відвантаженні (13).

5.2.2 Влаштування поверхневої обробки на автомобільній дорозі Р-78 «Харків – Зміїв – Балаклія – Гороховатка» укладальною дорожньою колоною Shafer RZS 14000

Поверхнева обробка, як шар зносу дорожнього покриття, повинна сприймати без руйнувань дію транспортних навантажень і кліматичних факторів протягом нормативного строку служби, створювати шорстку поверхню з коефіцієнтом зчеплення колеса з покриттям, що відповідає умовам руху, і не потребувати великих витрат на влаштування і утримання в процесі експлуатації.

Інженерний супровід влаштування тонкошарового покриття за технологією поверхневої обробки укладальною дорожньою колоною Shafer RZS 14000 складався з двох етапів.

І Етап проектування.

Підбір рецептури поверхневої обробки виконувався згідно з вимогами ДСТУ–Н Б В.2.3–38 [31] у наступній послідовності:

1. Аналіз фактичного стану існуючого покриття (основи) та умов експлуатації автомобільної дороги.
2. Підбір конструкції (запропоновано одинарну поверхневу обробку на модифікованій бітумній емульсії.)

2. Підбір мінеральних матеріалів

2.1. Перевірка відповідності щебеню вимогам ДСТУ Б В.2.7-75 [30].

2.2 Підбір необхідної фракції мінерального матеріалу з урахуванням вимог ДСТУ–Н Б В.2.3–38 [31].

3. Підбір складу емульсії

3.1.Визначення часу розпаду емульсії при взаємодії з мінеральним матеріалом.

При підборі швидкості розпаду враховували стан та ухил поверхні покриття, кліматичні умови влаштування шару, вид поверхневої обробки (з синхронним розподілом щебеню, одинарна).

Було підібрано склад для швидкорозпадної бітумної емульсії. Рекомендували використовувати емульсію при температурі повітря вище 20 ^{o}C без підігріву.

4. Підбір співвідношення емульсія – щебінь.

5. Визначення водостійкості та міцності зчеплення для пари «мінеральний матеріал – в’яжуче».

З урахуванням вище зазначеного було підібрано склад емульсії ЕКШМ-70 з вмістом полімеру 3 % від маси бітуму.

Фізико-механічні властивості модифікованої бітумної емульсії ЕКШМ-70 наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Фізико-механічні властивості катіонної бітумної емульсії

Найменування показників		Фактичні значення	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-129
Зовнішній вигляд емульсії		Однорідна темно-коричнева рідина	Однорідна темно-коричнева рідина
Показник концентрації водневих іонів, pH		2,55	Від 1,5-6,5
Однорідність (залишок на ситі № 014), %		0,31	не більше 0,4
Вміст залишкового в’яжучого , %		70	68-71
Стійкість при зберіганні, залишок на ситі №14, %		0,5	не більше 0,4
Умовна в’язкість, с, за температури 20 ºС на приладі з діаметром отвору витоку 4 мм		48	від 45 до 100
Зчеплюваність залишкового в’яжучого з поверхнею щебеню, бали		5	5
Змішуваність із сумішами зернових складів	пористого	ні	ні
	щільного	ні	ні

II Етап влаштування

1. Ліквідація дефектів основи.

2. Очищення та зволоження основи для запобігання передчасного розпаду емульсії.

3. Влаштування шару поверхневої обробки за допомогою укладальної дорожньої колони Shafer RZS 14000.

4. При влаштуванні поверхневої обробки виконували контроль за рівномірністю розподілу щебеню та за своєчасністю ліквідації незначних дефектів (підсипка щебеню, розрівнювання щебеню, прибирання зайвого щебеню, розлив емульсії вручну та підсипка щебеню).

5. Ущільнення шару поверхневої обробки здійснювали після початку розпаду емульсії.

6. Догляд за шаром поверхневої обробки.

Догляд за поверхневою обробкою вели протягом двох тижнів. Зерна щебеню, що не зафіксовані (не прижились) видаляли за допомогою поливально-мийної машини з щіткою так, щоб не пошкодити поверхню.

7. Відкриття руху.

Протягом 2-3 днів швидкість руху була обмежена до 30 км/год тимчасовими засобами організації дорожнього руху.

Візуальна оцінка стану ділянок автомобільної дороги Р-78 «Харків – Зміїв – Балаклія – Гороховатка» після 2 років експлуатації свідчить про відсутність дефектів тонкого захисного шару, викликаних зниженням залишковим в'яжучим утримуючої здатності (рис. 5.3-5.4).

а)

б)

Рисунок 5.3 – Загальний вигляд ділянок автомобільної дороги Р-78 «Харків – Зміїв – Балаклія – Гороховатка» км після 2 років експлуатації

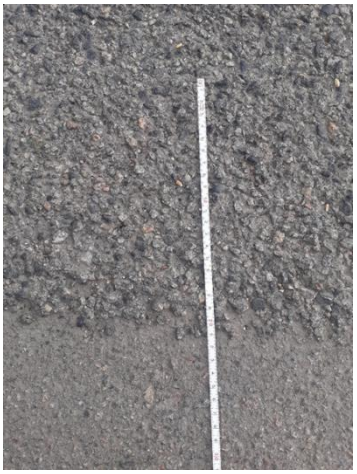


Рисунок 5.4 – Загальний вигляд текстури поверхні покриття ділянки

5.3 Розробка нормативно-технічних документів

Результати досліджень, що були отримані в процесі виконання дисертаційної роботи в рамках виконання госпдоговірних науково-дослідних робіт за темами № 35-12-08 «Провести моніторинг якості емульсій, що застосовуються дорожніми підприємствами України та надати пропозиції по їх оптимальному використанню» (державний реєстраційний № 0108U007431), № 35-01-08 «Контроль за дотриманням технологічних режимів при улаштуванні та ремонті дорожніх покриттів асфальтобетонними сумішами, які виготовляються на підприємстві ТзОВ «Паркінг +» (державний реєстраційний № 0108U002983), № 114/35-50-11 «Розробити посібник до ДСТУ Б В.27-129 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві» (державний реєстраційний № 0111U005504), а також результати, отримані в процесі науково-технічного супроводу робіт з приготування модифікованих бітумних емульсій та влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки на автомобільних дорогах загального користування, були використані для розроблення наступних нормативно-технічних документів:

1. ДСТУ Б В.27-129:2013 «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови»;

2. Посібник до ДСТУ Б В.27-129:2013 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві.

Розроблений державний стандарт використовується в дорожній галузі при виконанні робіт, пов’язаних з приготуванням та використанням модифікованих водними катіонними латексами бітумних дорожніх емульсій.

Розроблений посібник внесений в фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) і використовується будівельними і експлуатаційними організаціями при виконанні робіт з ремонтів асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг.

Довідки про впровадження результатів дослідження наведені в додатку А.

5.4 Оцінка економічної ефективності використання модифікованих бітумних емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки

Обґрунтування економічної ефективності використання модифікованої бітумної емульсії для поверхневої обробки необхідно виконувати з урахуванням техніко-економічних показників, що враховують зміну вартості одиниці продукції та відповідний ефект від збільшення строків служби об'єкту ремонту.

Для порівняння обрано технологію влаштування одношарової поверхневої обробки дорожнього покриття з використанням дорожньої колони Shafer RZS 14000. Для 1 варіанту взята бітумна емульсія ЕКШ-70, для 2 варіанта модифікована бітумна емульсія ЕКШМ-70, що була отримана введенням 3 % (від маси бітуму) водного катіонного латексу Butonal NS 198 в вихідну емульсію.

Економічний ефект від влаштування одношарової поверхневої обробки дорожнього покриття з використанням модифікованої бітумної емульсії (за рахунок підвищення працездатності поверхневої обробки), визначається за наступною формулою:

$$E_1 = (C_1 - C_2), \quad (5.2)$$

де C_1 – собівартість влаштування одношарової поверхневої обробки на бітумній емульсії з використанням дорожньої колони Shafer RZS 14000, грн. / 1000 м^2;

C_2 – собівартість влаштування одношарової поверхневої обробки на модифікованій 3 % латексу бітумній емульсії з використанням дорожньої колони Shafer RZS 14000, грн. / 1000 м^2;

Собівартість влаштування одношарової поверхневої обробки з використанням бітумної та модифікованої бітумної емульсій визначаються за формулами:

$$C_1 = C_{н1} \cdot (1 + \Delta h_1),$$
$$C_2 = C_{н2} \cdot (1 + \Delta h_2), \quad (5.3)$$

де $C_{н1}$ – нормативна собівартість влаштування одношарової поверхневої обробки на бітумній емульсії з використанням дорожньої колони Shafer RZS 14000, грн. / 1000 м^2;

$C_{н2}$ – нормативна собівартість влаштування одношарової поверхневої обробки на модифікованій бітумній емульсії з використанням дорожньої колони Shafer RZS 14000, грн. / 1000 м^2;

Δh_1 та Δh_2 – відносна ймовірність втрати працездатності поверхневої обробки при використанні відповідно бітумної та модифікованої бітумної емульсій, в частках одиниці.

За результатами порівняльних лабораторних досліджень (рис. 4.51) утримуючої здатності залишкового в'яжучого після циклічного заморожування-відтавання для бітумної емульсії цей показник склав 60 %, що вказує на ймовірність втрати працездатності поверхневої обробки до 0,4 одиниці.

При застосування модифікованої бітумної емульсії значення вказаного показника становить 92 %, за аналогічних умов випробування, що вказує на ймовірність втрати працездатності поверхневої обробки на 0,08 одиниць.

Кошторисні розрахунки вартості виконання робіт за варіантами наведено в додатку Б.

Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту від використання модифікованої бітумної емульсії для поверхневої обробки наведені в таблиці 5.4

$$C_1 = 35335{,}79 \cdot (1 + 0{,}4) = 49470{,}11 \text{ грн./1000 м}^2;$$

$$C_2 = 40392{,}63 \cdot (1 + 0{,}08) = 43624{,}04 \text{ грн./1000 м}^2;$$

$$E_1 = (49470{,}11 - 43624{,}04) = 5846{,}07 \text{ грн./1000 м}^2.$$

Таблиця 5.4– Вихідні дані для розрахунку

Показники	Позначення	Чисельне значення
Нормативна собівартість влаштування одношарової поверхневої обробки на бітумній емульсії з використанням дорожньої колони Shafer RZS 14000, грн. / 1000 м^2	$C_{н1}$	35335,79
Нормативна собівартість влаштування одношарової поверхневої обробки на модифікованій бітумній емульсії з використанням дорожньої колони Shafer RZS 14000, грн. / 1000 м^2	$C_{н2}$	40392,63
Відносна ймовірність втрати працездатності поверхневої обробки при використанні бітумної емульсій	Δh_1	0,4
Відносна ймовірність втрати працездатності поверхневої обробки при використанні модифікованої бітумної емульсій	Δh_2	0,08

Таким чином, економічний ефект від застосування модифікованої водним катіонним латексом емульсії при влаштуванні одношарової поверхневої обробки дорожньою колоною Shafer RZS 14000 становить 5846 гривень 07 коп. на 1000 м^2.

5.5 Висновки по розділу

1. Результати виконаних досліджень у виробничих умовах свідчать про те, що використання модифікованих бітумних емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки збільшує термін їхньої експлуатації завдяки підвищеній утримуючій здатності залишкового в’яжучого.

2. Розроблено та впроваджено у виробничих умовах рекомендації щодо технології модифікації дорожніх бітумних емульсій водним катіонним латексом.

3. Результати дисертаційного дослідження впроваджені під час розроблення для дорожньої галузі України нормативно-технічних документів ДСТУ Б В.27-129:2013 «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови» та Посібник до ДСТУ Б В.27-129:2013 щодо технологій приготування та застосування

катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві. Розроблені нормативно-технічні документи використовують дорожні підприємства для приготування модифікованих бітумних емульсій та виконання робіт з будівництва та ремонту дорожніх одягів автомобільних доріг.

4. Визначена економічна ефективність використання модифікованих бітумних емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки. Встановлено, що використання модифікованих бітумних емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки дозволяє економити 5846,07 грн. на 1000 м^2, порівняно з використанням для вказаних робіт не модифікованих дорожніх бітумних емульсій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано та експериментальними дослідженнями підтверджено формування структури, яка забезпечує залишковому бітумному в'яжучому одночасно еластичність, підвищену водостійкість, теплостійкість та утримуючу здатність зерен щебеню в захисному шарі, влаштованому за технологією поверхневої обробки. Обґрунтовано основні стадії механізму розпаду катіоноактивної бітумної емульсії, модифікованої водним катіонним латексом, на мінеральній поверхні.

2. Експериментально встановлено, що поверхневі властивості водних фаз та катіонних бітумних емульсій на їх основі мають близькі значення, тому обґрунтування вибору емульгаторів для приготування емульсій з певною швидкістю розпаду можна проводити на основі результатів визначення поверхневих властивостей водних фаз. Показано, що робота сил адгезії бітумних емульсій та водостійкість залишкових бітумів, утворених внаслідок їх розпаду, є взаємопов'язаними параметрами. Встановлено, що зі збільшенням роботи сил адгезії бітумної емульсії спостерігаються зростання значення показника зчеплюваності залишкового бітумного в'яжучого з поверхнею зерен щебеню та скляних пластин.

3. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що додавання водного катіонного латексу до складу бітумних катіонних емульсій, виготовлених на основі дорожніх нафтових окиснених бітумів, практично не позначається на показниках їх фізико-механічних властивостей, проте суттєво позначається на теплостійкості та еластичності бітумних в'яжучих, утворених внаслідок їхнього розпаду. Показано, що за величиною теплостійкості та еластичності бітумні в'яжучі, що утворені внаслідок розпаду бітумних емульсій, модифікованих 4,5 % водного катіонного латексу, відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-135, що висуваються до бітумополімерів БМП3 60/90-56, які традиційно виготовляють змішуванням за високих технологічних температур. За

збільшення вмісту у складі бітумної емульсії катіонного латексу до 6 % відбувається збільшення температури розм'якшеності бітумного в'яжучого на 16 °С, порівняно з вихідним окисненим бітумом.

4. За результатами експериментальних досліджень водостійкості встановлено, що зі збільшенням концентрації водного катіонного латексу у складі бітумних емульсій відбувається зростання показників зчеплюваності плівок бітумних в'яжучих, утворених після розпаду емульсій, з поверхнею зерен щебеню та скляних пластин. Показано, що присутність у складі бітумної емульсії водного катіонного латексу у кількості 3 % від маси бітуму спричиняє зростання показника зчеплюваності з поверхнею зерен гранітного щебеню на 95 %, порівняно з вихідним окисненим бітумом марки БНД 70/100. За вмісту 6 % водного катіонного латексу у складі катіонної бітумної емульсії значення показника зчеплюваності плівок бітумного в'яжучого з поверхнею скляних пластин становить 97 %.

5. Експериментально встановлено, що бітумні в'яжучі, утворені внаслідок розпаду модифікованих катіонним латексом бітумних емульсій, характеризуються більшою величиною утримуючої здатності в діапазоні температур від мінус 5 до мінус 25 °С, порівняно з бітумними в'яжучими, утвореними з бітумних емульсій без латексу. Показано, що за температури мінус 25 °С збільшення значення показника утримуючої здатності зерен щебеню залишковим бітумним в'яжучим з вмістом 6 % латексу склало 68 %, порівняно з бітумним в'яжучим без латексу. Встановлено, що бітумним в'яжучим, утвореними внаслідок розпаду модифікованих емульсій, притаманна менша чутливість показника утримуючої здатності до впливу циклічного заморожування-відтавання, порівняно з бітумними в'яжучими, утвореними внаслідок розпаду бітумних емульсій без латексу. Температурна чутливість показника еластичності, а також показника утримуючої здатності зерен щебеню бітумним в'яжучим, утвореним внаслідок розпаду бітумної емульсії з 6 % латексу, є найменшою, порівняно із бітумними в'яжучими, утвореними

внаслідок розпаду бітумних емульсій з 4,5 %, 3 % та 1,5 % латексу від маси бітуму.

6. Результати виконаних досліджень впроваджені у виробничих умовах під час влаштування тонкошарового покриття за технологією поверхневої обробки шляхом синхронного нанесення модифікованої бітумної емульсії та розсипання щебеню на поверхню асфальтобетонного на автомобільній дорозі Р-78 «Харків – Зміїв – Балаклія – Гороховатка», а також у навчальний процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Результати дисертаційного дослідження були використані при розробленні ДСТУ Б В.2.7-129:2013 «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови» та «Посібник до ДСТУ Б В.27-129:2013 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві». Визначена економічна ефективність використання модифікованих бітумних емульсій для влаштування тонких захисних шарів за технологією поверхневої обробки яка складає 5846,07 грн. на 1000 м^2, порівняно з використанням для вказаних робіт не модифікованих дорожніх бітумних емульсій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

.

1. Абрамзон А. А., Зайченко Л. П, Файнгольд С. И. Поверхностно-активные вещества. Л: «Химия».1988. 199 с.

2. Агеєва О. М., Космін О. В. Вплив поверхнево-активної речовини камід на властивості асфальтобетонів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.* 1970. №6. С.43-46.

3. Асфальтобетонные и черные облегченные покрытия автомобильных дорог. *Материалы VI всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве*. М. Выпуск № 4. 1976. 130 с.

4. Бауман К. В., Гамеляк І.П., Коц І.В. Кінетика утворення бітумної емульсії в установці з кавітаційним диспергатором. *Автомобільні дорогі і дорожнє будівництво.* К.: НТУ, Випуск 88. 2013. С. 70–80.

5. Бернштейн А. В. Самопроизвольное эмульгирование битумов. К: Наукова думка. 1969. 70 с.

6. Бернштейн О. В. Хімія в шляховому будівництві. Київ: Радянська Україна. 1960. 35 с.

7. Бесараб О. М., Оніщенко А. М., Смолянець В. В., Макарчев О. О. Теоретичні основи термо-реологічної поведінки полімерасфальтобетонів на основі латексів BUTONAL. *Автомобільні дороги.* 2007. №6. С. 37-39.

8. Будник В. А., Евдокимова Н. Г., Жирнов Б. С. Битумные эмульсии. Особенности состава и применения. [Електронний ресурс]. *Нефтегазовое дело*. 2006. Режим доступу до журн.: http://www.ogbus.ru.

9. Будник В. А., Евдокимова Н. Г., Жирнов Б. С. Механический способ эмульгирования битума в воде. Установка. Методика. Результаты апробирования. *Нефтегазовое дело.* 2006. Режим доступу до журн.: http://www.ogbus.ru.

10. Васильев А., Шамбар П. Поверхностная обработка с синхронным распределением материалов. М: «Трансдорнаука». 1999. 80 с.

11. Волков М. І., Кирилова Л. О. До питання про кінетику бітумних емульсій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 1974. № 4. С. 73-75.

12. Гамеляк І. П., Коц І. В., Бауман К.В. Нечітка математична модель оцінки технологічного процесу приготування бітумних емульсій *Труди НТУ. Системний аналіз.* 2017. С. 103 – 110.

13. Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии. Л.:«Химия». 1964. 575 с.

14. Гавриленко А. Д. Асфальтовий бетон на емульсіях рідких бітумів. *Будівельні матеріали і конструкції*. 1969. № 5. С. 5- 6.

15. Гавриленко А. Д. Здатність до ущільнення асфальтобетонних сумішей на емульсіях залежно від кількості в них вологи. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 1970. № 6. С. 53-56.

16. Гамеляк І. П., Палєшев О. С., Ренейська С. В. Ефективність використання модифікаторів бітуму та асфальтобетону при ремонті магістральних автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Вип. 108. 2020 С. 11-21.

17. Геймор В. Ф. О проблемах промышленного производства и применения битумных катионных эмульсий. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 1999. №4. С. 12-13.

18. Глущенко Н. Ф. Бітумно-полімерні емульсії як в’яжучий матеріал для виготовлення піщаного асфальтобетону. *Автомобільні дорогі і дорожнє будівництво*. 1983. Вип. 33. С. 52-53.

19. Егоров С. В., Натанзон Я. В. Новый метод определения скорости распада битумных эмульсий. *Автомобильные дороги*. 1962. № 10.

20. Горнаев Н. А. Исследование асфальтового бетона на битумных эмульсиях.: автореф. дис.на получение уч. степени канд. техн. наук: спец 05.23.05- «Строительные материалы и изделия» Киев. 1964. 19 с.

21. Гохман Л. М. Гурарий Е. М., Давыдова А. Р., Давыдова К. И. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства М.: *Автомобильные дороги*. 2002. 112 с.

22. Гузеева В. Ф. Укрепление грунтов полимерно-битумными эмульсиями. *Сб. «Труды Союздорнии»*. 1972. Вып. 57. С. 153-160.

23. ДСТУ EN 12272-3:2020 Поверхнева обробка. Методи випробувань. Частина 3. Визначання зчеплюваності в'яжучого з заповнювачем ударним методом із застосуванням плити Vialit (EN 12272-3:2003, IDT) К: ДП»УкрНДНЦ». 2021. 15 с. Національний стандарт України.

24. Доклады и сообщения на совещании по применению поверхностно-активных веществ и эмульсий в дорожном строительстве. Под. редакцией В. В. Михайлова. М.: Оргтрансстрой. 1961. 202 с.

25. ДСТУ Б В.2.7-81-98 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения показателя сцепления с поверхностью стекла и каменных материалов. К.: Госстандарт Украины, 1999. 5 с.

26. ДСТУ Б Д. 2.2-27:2016 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. [Чинний від 23.06.2016].-К: ДП»УкрНДНЦ». 2016. 81 с. Національний стандарт України.

27. ДСТУ 4044-2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2020-05-01] К.: Національний стандарт України. 2001. 14 с.

28. ДСТУ Б В.2.7-135:2014 Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови [Чинний від 2015-04-01]. К.: Національний стандарт України. 2015. 18 с.

29. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. [Чинний від 2017-04-01]. К.: ДП УкрНДНЦ. 2017. 70 с.

30. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. [Чинний від 1998-08-25] К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. 1999. 12 с.

31. ДСТУ–Н Б В.2.3–38:2016 Настанова з влаштування захисних шарів зносу покриття дорожнього одягу автомобільних доріг. [Чинний від 2017-04-01].

К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2016. 21 с.

32. ДСТУ-Н Б В.3.2-5:2016 Настанова з ліквідації вибоїн покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг. [Чинний від 2017-04-01] К.: Національний стандарт України. 2017. 18 с.

33. Евгеньев И. Е., Савин В. В. Защита природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. М.: Транспорт. 1989. 237 с.

34. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-129:2013. - [Чинний від 22.07.2013] К: Мінрегіон. 2014. 21 с. Національний стандарт України

35. Жданюк Валерий Кузьмович. Структурообразование в контактной зоне как основа формирования водоустойчивости асфальтобетонов: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: 05.23.05. –Харьков, 2000. 370 с.

36. Жданюк В. К, Терлецкая В. Я Існуючі уявлення про структуру катіонних бітумних емульсій з добавками полімерів. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожнього факультету «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів»*. Харків. 2010. С. 163-168.

37. Жданюк В. К, Терлецкая В. Я. Взаимосвязь термодинамических и физико-механических характеристик катионных битумных эмульсий. *Зб.наукових праць «Дороги і мости».* 2009. В. 11. С. 343-349.

38. Жданюк В. К. Шевченко В. П. Адгезійно-когезійні властивості рідких бітумополімерних в'яжучих. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2001. Вип. 61. С. 97-100.

39. Жданюк В. К., Артамонова Е. И., Аринушкина Е. А., Терлецкая В.Я. Катионные дорожные битумные эмульсии с добавкой водного латекса «Butonal NS 198» для дорожного строительства. *Материалы Девятой ежегодной международной Промышленной конференции «Эффективность реализации*

научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях», п. Славское. 2009. С. 225-227.

40. Жданюк В. К., Єфремов С. В. До питання про вплив походження кам'яних матеріалів на кути змочування їх поверхні. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.* 1997. № 54. С. 107-110.

41. Жданюк В. К., Золотарьов В. О. Оцінка впливу дисперсності та походження мінеральних порошків на адсорбцію бітуму з розчинів. *Автомобільні дорогі і дорожнє будівництво*. 1997. Вип. 54. С. 105-107.

42. Жданюк В. К., Терлецька В. Я, Аринушкина Е. А. Сравнительное исследование скорости распада битумных и битумно-полимерных эмульсий. *Материалы VII Международной научно-технической интернет-конференции «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве».* ХНАГХ. 2008. С. 15-17.

43. Жданюк В. К., Терлецька В. Я., Титарь В. С. Экологическая привлекательность применения эмульсионных технологий при строительстве и ремонте автомобильных дорог. *XI научно-техническая конференция "Транспорт, экология – устойчивое развитие"*. Варна, Болгария. 2005. С. 319-322.

44. Жданюк В. К., Терлецька В. Я. Свойства битума, выделенного из катионных дорожных битумных эмульсий . *Материалы международной научно-технической конференции молодых учёных и аспирантов «Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог».* Харьков. 2008. С. 201-204.

45. Жданюк В. К., Терлецька В. Я. Дослідження властивостей емульгаторів для дорожніх бітумних емульсій. *Вісник ХНАДУ*. 2006. № 34-6. С. 142-145.

46. Жданюк В. К., Терлецька В. Я. Катіонні бітумні емульсії модифіковані водним катіонним латексом. *Автошляховик України.* 2008. №1. С. 32-36.

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

48. Жданюк В. К., Терлецька В. Я. Термодинамічні властивості катіонних бітумних емульсій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2008. Вип.75. С. 150-153.

49. Жданюк В. К., Терлецька В. Я., Кривохижа О. М., Микитенко С. М. До питання про застосування емульсій бітумних дорожніх при будівництві та ремонті автомобільних доріг. *Автошляховик України.* 2005. № 6. С. 33-35.

50. Жданюк В. К., Терлецька В. Я., Чугуенко Ю. Г. Свойства битумных эмульсий, модифицированных полимерами. *Материалы II международной научно-технической Интернет-конференции «Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства»,* ХНАГХ. 2007. С. 146-147.

51. Жданюк В. К., Шевченко В. П., Масюк Ю. А. Термодинамические характеристики смачивания поверхности минеральных материалов жидкими битумами и битумополимерными вяжущими. *Вестник ХНАДУ*. 2002. Вып. 19. С. 124-126.

52. Журавський Д. Л., Гамеляк І.П. Вимоги до показників якості бітумних емульсій. *63 науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів студентів та структурних підрозділів НТУ.* Тези доповідей. К.: НТУ, 2007. С. 118.

53. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. М.: Химия. 1974. 416 с.

54. Звіт до НДР «Провести моніторинг якості емульсій, що застосовуються дорожніми підприємствами України та надати пропозиції по їх оптимальному використанню». Державний реєстраційний № 0108U007431. 2009. 94 с.

55. Исследования битумных эмульсий для строительства автомобильных дорог. *Сб. научн. трудов Сюздорнии*. Вып.40. М.: Научн. ред. 1970. Вып. 40. 135 с.

56. Казарновская Э. А. Исследование процесса формирования и свойств плёнок из битумных эмульсий *Сб. «Труды Союздорнии».* 1972. Вып. 57. С. 45-59.

57. Кинлок. Э. Пер. с англ. А. Б. Зильберман. Адгезия и адгезивы. Наука и технология. М.: «Мир». 1991. 484 с.

58. Кіщинський С.В., Кириченко Л. Ф., Боднар Н. А., Любченко Н. М. Моніторинг якості бітумів, які використовують в Україні для дорожнього будівництва. *Автошляховик України*. 2007. №6. С. 24-26.

59. Кіяшко Ігор Володимирович Поліпшення між шарового зчеплення при ремонті асфальтобетонних покриттів: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.22.11 Харків. 1997. 267 с.

60. Клейтон В. Эмульсии. Их теория и техническое применение. М.: Изд. ИЛ. 1950. 680 с.

61. Колбановская А.С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. М.: Транспорт, 1973. 264 с.

62. Королёв И. В. Пути экономии битума. М.: Транспорт. 1986. 149 с.

63. Кучма М. И. Поверхностно-активные вещества. Москва: «Транспорт», 1980. 190 с.

64. Ладиженський І. С., Антоновський Д. М., Ладиженський І. С. Підвищення тріщиностійкості і покращення характеристик асфальтобетону армуванням плоскими полімерними георешітками. *Автомобільні дорогі і дорожнє будівництво.* 2008. Вип. 75. С. 203-206.

65. Ларина Г. А. Холодные эмульсионные способы содержания покрытия автомобильных дорог. *Автомобильные дороги*. 2007. № 4. С. 61-64.

66. Лосев И. П., Тростянская Е. Б. Химия синтетических полимеров. М.: Химия, 1964. 640 с.

67. Луканина Т. М. Укрепление грунтов модифицированными карбамидными смолами с добавками битумных эмульсий. *Сб. «Труды Союздорнии».* 1968. Вып. 25. С. 126-154.

68. Маркова Т. А. Применение эмульсий в дорожном деле. Ленинград: Государственное транспортное издательство. 1936. 107 с.

69. Митин А. Выбираем битумно-эмульсионную установку. *Автомобильные дороги*. 2005. № 4. С. 66-67.

70. Михайлова И. В., Геращенко И. И Адсорбция катионных ПАВ на высокодисперсном кремнезёме. *Коллоидный журнал*. 2001. Т.63, № 4. С. 482-483.

71. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. PIARC-AIPCR. // Пер. с франц. Золотарева В.А., Беспаловой П.А. под ред. Золотарева В.А., Братчуна В.И. 2003. 229 с.

72. Некрасов А. П., Веретенченко Б. А. Лабораторный практикум по коллоидной химии. Х.: НТУ «ХПИ». 2004. 276 с.

73. Никишина М. Ф. Эвентов И. М, Архипова А. П. Дорожные эмульсии. М.: Транспорт. 1964. 172 с.

74. Никишина М. Ф., Назаров В. В., Челухина Г. А. Выбор оптимальных условий приготовления катионных эмульсий в машинах непрерывного действия. *Сб. «Труды Союздорнии»* 1972. Вып. 57. С. 25-37.

75. Новаковська В. Дослідження процесу розпаду бітумних та модифікованих бітумних емульсій. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2015. В. 157. С. 92-96. Режим доступу: DOI:10.18664/1994-7852.157.2015.61519

76. Ольховиков В. М., Лупанов А. П., Бабков И. Б Технология устройства защитных слоев на основе катионных битумных эмульсий и задачи по её освоению. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 1998. № 2. С. 19-20.

77. Островерхий Олег Григорович Проектування тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів дорожніх одягів: дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук спец.05.22.11.-Автомобільні шляхи та аеродроми. Київ, 2002. 202 с.

78. Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. Технические условия": ГОСТ 22551-77. [Чинний від 1979-01-01]. - М.: ИПК издательство стандартов, 1977. 16 с. Государственный стандарт Союза ССР.

79. Гамеляк І.П., Островерхий О.Г. Довговічність холодного литого асфальтобетону на бітумній емульсії. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, К.: НТУ. 2000. Вип. 60. С. 40-45.

80. Писанко А. О. Єфремов С.В. , Агеєва О. М., Золотарьов В. О. Температурна стабільність властивостей асфальтобетонів на бітумах з поверхнево-активними речовинами. *Автошляховик України*. 2000.№ 3. С. 35-37.

81. Плотникова И. А. Влияние различных факторов на дисперсность эмульсий и паст. *Сб. «Труды Союздорнии*. 1972. Вып. 57. С. 60-68.

82. Плотникова И. А. Исследования отечественных катионных ПАВ как эмульгаторов. *Сб. «Труды Союздорнии».* 1972. Вып. 57. С. 5-24.

83. Плотникова И. А., Рвачева Э. М. Совершенствование дорожно-строительных работ с использованием битумных эмульсий. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2001. № 3. С. 13-14.

84. Плотникова И. А. Исследование устойчивости катионных эмульсий при взаимодействии с тонкодисперсными материалами *Сб. «Труды Союздорнии»* В. 71. Москва. 1974 г. С. 4-20.

85. Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. *Сб. научн. трудов Союздорнии.* М.:Научн.ред.1968. 106 с.

86. Поясник Г. В. Пути повышения водоустойчивости асфальтобетонов: Дис.канд.техн.наук: 05.23.05. ХГАДТУ. Харьков. 1996. 178 с.

87. Пыриг Я. И. Закономерности течения битумов при технологических температурах. *Вестник ХНАДУ*. 2000. №12-13. С. 151-155.

88. Радовський Б. С., Мозговий В. В., Гамеляк І. П Дисперсність емульсії при гідродинамічному проточно-кавітаційному способі її отримання *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 1997. № 54. С. 115-119.

89. Рвачёва Э. М., Плотникова И. А, Казарновская Э. А. Поверхностная обработка из щебёночно-эмульсионно-минеральных смесей. *Автомобильные дороги.* 1986. №8. С. 11-14

90. Ребиндер П. А. Поверхностно-активные вещества. М.: Знание. 1978. 368 с.

91. Ронов А. Опыт производства битумных эмульсий в России с применением эмульгаторов фирмы CECA. Доркомстрой. 2006. № 10. С. 51-52.

92. Руденская И. М. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Транспорт,. 1984. 229 с.

93. Северс Э. Т. Реология полимеров М.:. Химия. 1966. 200 с.

94. Соколов Ю. В,. Шестаков В. Н. Битумные эмульсии в дорожном строительстве. Учебно-справочное пособие. Омск: ГУИПП «Омский дом печати». 2000. 256 с.

95. Солодкий С. Й. Інноваційні матеріали і технології для будівництва та ремонту дорожніх одягів автомобільних доріг.: Навч. посібник. Л.: Львів. Політехніка. 2013. 140 с.

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

97. Солодкий С. Й., Сідун Ю. В, Волліс О. Є. Підбір оптимального складу литої емульсійно-мінеральної суміші за критерієм її розпаду. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*. Львів. 2013. № 755. С. 406-410.

98. Соломенцев А. Б., Круть В. В., Маляр В. В., Золотарёв В. А. Адгезионные свойства и когезионная прочность дорожного битума с ПАВ класса имидазолинов. *Наука и техника в дорожной отрасли.* 1999. № 1. С. 22-23.

99. СТБ 1245-2015 Эмульсии битумные дорожные катионные. Госстандарт. Минск. 2015. [Введен 14.12.2015]. 20 с.

100. Соседко С. Н., Колодезный В. П., Степанов В. Ф., Соломенцев А. Б. Использование адгезионных ПАВ в асфальтобетоне с применением ПБВ. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2000. № 3. С. 28-30.

101. Кириченко Л.Ф. О прилипании эмульгированного биттума к поверхности минерального материала. *Строительство и эксплуатации дорог и мостов. Сб. научн. трудов. отв. ред. С. В. Егоров*. Киев. Будивельник. 1975. С. 64-66.

102. Ступакова Л. Ф., Полетаев А. В. Исследование влияния химического состава катионоактивных эмульгаторов на образование и устойчивость битумных эмульсий. *Сб. «Труды Союздорнии».* 1972. Вып. 57. С. 38-44.

103. Терлецкая В. Я., Бородина С. В, Аринушкина Е. А. Влияние полимера класса термоэластопластов на свойства катионных битумных эмульсий. *Сборник докладов международной научно-практической конференция «Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии» Часть 4.* Белгород. 2007. С. 311-312.

104. Технические поверхностно-активные вещества из вторичных ресурсов в дорожном строительстве. Под. ред. Королева И. В. Москва: «Транспорт». 1991. 145 с.

105. Технология строительства дорожных покрытий из холодных смесей на эмульсиях. *Материалы научно-технического семинара*. Минск. 1972. 69 с.

106. Улучшение качества и совершенствование технологии применения битумных эмульсий: *Сб. научн. трудов Сюздорнии.* Вып. 71. М.: научн.ред. 1974. 96 с.

107. Фридман А. А, Ястребова Л. Н. Исследование структуры грунтов, укрепленных битумной эмульсией совместно с цементом. *Труды Союздорниии.* 1973. Вып. 66. С. 40-54.

108. Фридрисхберг Д. А. Курс коллоидной химии. Л.: «Химия».1974. 351 с.

109. Хавкин Б. М. Исследование процессов структурообразования в битумоминеральных материалах, получаемых с применением битумных эмульсий: автореф. дис. на получение уч. степени канд. техн. наук :спец спец 05.23.05- «Строительные материалы и изделия. Харьков. 1969. 32 с.

110. Хойберг А. Д. Битумные материалы. М.: Химия, 1974. 248 с.

111. Чугуенко Сергей Анатолиевич. Сдвигоустойчивость асфальтобетонов на битумах, модифицированных полимерами: диссертация на

соискание учёной степени кандидата технических наук спец. 05.23.05.- строительные материалы и изделия. Харьков. 2006. 185 с.

112. Шварц А. Пери Дж. Поверхностно-активные вещества. Москва: Изд. ИЛ. 1953. 520 с.

113. Шевченко В.П. Дослідження поверхневих властивостей рідких бітумополімерних в'яжучих. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2000.- Вип. 58. С. 8-11.

114. Шерман Ф. Эмульсии. Под ред. А.А. Абрамзона. Л.: «Химия» 1972. 448 с.

115. Шеховцова С.Ю. Метод прогнозирования эффективности катионных битумных эмульсий. *Инженерно-строительный журнал*. 2018. № 2. С. 91-100.

116. Шрестха Раджу Баде. Асфальтобетоны повышенной водоустойчивости на активированных минеральных материалах : диссертация на соисканиеучёной степени кандидата технических наук спец. 05.23.05.- строительные материалы и изделия. Харьков. 2004. 148 с.

117. Ястребова Л. Н., Плотникова И. А. Процессы структурообразования грунтов с битумными эмульсиями и влияние на них природы эмульгатора. *Сб.«Труды Союздорнии*». 1965. Вып. 5. С. 70-88.

118. Abedini H. Rheological properties of bitumen emulsion modified with NBR latex. Hossein Abedini, Mohammad Abedini, Shahab Naimi's. *Petroleum Science and Technology*. August 2017. Режим доступу: DOI: 10.1080/10916466.2017.1319386.

119. Asphalt emulsion technology. Review of asphalt emulsion residue procedures. [Електронний ресурс]. *Transportation research circular*. Number E-C122.- 2000. Режим доступу : http://onlinepubs.trb.org.

120. Bayoumi M., Ghaly A.N.F, Ibrahim I. M. The Effect of Modified Bitumen and Polymeric Emulsions Inclusion on the Microstructure, Physical, and Mechanical Properties of Concrete [Електронний ресурс]. *Journal of Applied*

Sciences Research. 2008. № 4. P. 1305-1314. Режим доступу :http://www.insinet.net/jasr/2008/1305-1314.pdf.

121. California Test 331. Method of test for residue by evaporation of latex modified emulsified asphalt [Електронний ресурс]. State of California, Department of transportation, 1998. 2 p. Режим доступу :http://www.dot.ca.gov/hq/esc/ctms/pdf/CT_331.pdf.

122. Carpani C., Bocci V. Rheological and performance characterisation of the bitumen recovered from different emulsions for cold mixtures. *Road Materials and Pavement Design.* V22 – 2021. P. 214-231. Режим доступу: https://doi.org/10.1080/14680629.2021.1906735.

123. Eckman B. Emulsje kationowewe Francji Doswiadczenia o siagniecia w stosowan i uw budownictwie drogowym. *Nawierzchnie asfaltowe.* 2007. №3. P.11-15.

124. Eckman B., Bec S.le, Verlhac P., Caldderon F.,. Dicharry C. Particle size distribution of bituminous emulsions measurement and prediction. *Revue Générale des routes et Aérodromes.* 2001. № 794. P. 1-9.

125. Emery S,'Connel. Bitumen emulsion uses in road works in Southern Africa. *Materials of 8 conference on asphalt pavements for Southern Africa, September, 2004.* [Електронний ресурс] Режим доступу :http:// asac.csir.co.za.

126. EN 12847: 2009. Bitumen and bituminous binders. Determination of setting tendency. [Publication Date 31.07.2009]. 11 p.

127. EN 13614:2011 Bitumen and bituminous binders - Determination of adhesivity of bitumen emulsions by water immersion test. [Publication date 30.04.2011]. 12 p.

128. Environmental and health aspects related to working with bituminous mixtures. PIARC Technical committee on flexible roads, 1995. 26 c.

129. Holleran G. Hicks R.G , Reed J. R. Effect of Particle Size and Distribution on Slurry Surfacing Microsurfacing Performance. *International Slurry Surfacing Association.* 2002 [Електронний ресурс]. Режим доступу:http://www.slurry.org.

130. Holleran G., Jeffrey R. Analysis of Emulsion Stability and Asphalt Compatibility, Asphalt Emulsion. *Manufacturing Association, International Symposium on Asphalt Emulsion Technology*. 1999. [Електронний ресурс]. Режим доступу:http://www.slurry.org

131. James A. D. Stewart D., Vening P. Cationic bitumen emulsions: theory and applications. *Materials of 6th Strassenkonferens, Budapest, Hungary, 1988.* [Електронний ресурс]. Режим доступу: //http://www.e-asphalt.com/ingles/akzo/technical_paper/Strassenkonferenz1988-cationicemulsion.pdf.

132. James. A. Solving emulsion viscosity problems by the choice of emulsifier. *Materials of 24th AEMA Meeting, Cancun. Mexico. 1997.* [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www-e-asfalto.com.ar

133. Kalkman J. Investigation into the stability of bitumen emulsions [Електронний ресурс]. *E1445 Thesis and seminars. The University of Queensland*. 1999. 80 p. Режим доступу:http: // www.cheaque.uq.edu.au.

134. Lesueur D. Polymer modified bitumen emulsions (PMBEs) . Chapter 2 in Polymer modified bitumen Properties and Characterisation *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*. 2011. P. 25-42. Режим доступу: DOI:10.1533/9780857093721.1.25.

135. Lesueur D., LeRoux A., Odie L., LeRoux C., Such C., Druon M. Characterization of the reactivity of road aggregate with respect to bituminous emulsions. *Bulleyin des laboratories des Ponts et Chaussees*. 2003. № 246-247. P. 19-34.

136. Louw K., Spence K., Kuun P. The use of bitumen emulsions as a cost effective solution for constructing seals during winter. *Materials of 8 conference on asphalt pavements for Southern Africa, Sun Sity, South Africa.* 2004. Режим доступу:http://asac.csir.co.za/capsa/Documents/020B.pdf.

137. Louw K, Rossmann D., Cupido D. The vialit adhesion test: is it an appropriate test to predict low temperature binder/aggregate failure? *Materials of 8*

conference on asphalt pavements for Southern Africa (CAPSA'04. September 2004. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://asac.csir.co.za.

138. Mohammad A., Abolfazl Mahmoud Reza Low-temperature adhesion performance of polymer-modified Bitumen emulsion in chip seals using different SBR latexes. *Petroleum Science and Technology*. V.35–2017. P. 59-65. Режим доступу: https://doi.org/10.1080/10916466.2016.1238932.

139. Naqiuddin M., Warid M., Hainin Mohd Rosli, Yaacob Haryati, Md. Maniruzzaman A. Aziz, Mohd Khairul Idham, Noor Azah Abdul Raman, Rosmawati Mama. Effect of styrene-butadiene on rheological properties of asphalt emulsion. *Emerging and Current Issues In Engineering, Mathematics and Technology Disciplines*. 2015. Vol. 77 No. 23: Режим доступу: DOI: https://doi.org/10.11113/jt.v77.6678.

140. V. Zhdaniuk, V. Novakovska Estimating the effect of aqueous cationic latex from the class of thermal elastic plastics on the properties of bitumen emulsions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №4 (6(112)). P. 24-32 https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237323.

141. Pat.US0058734A1 United States Int.Cl.CO8L 95/00, U.S.Cl.524/59 Asphalt emulsion. Harlan C.W., ass. Georges Constraction Company, .778317. fil.6.02.2001; date 16.05.2002; [Електронний ресурс]. Режим доступу http://www.freepatentsonline.

142. Pat.US0144628A1 United States Int.Cl. CO8L 97/00, U.S.Cl.106/123 Rubber base asphalt emulsion additive. Honma Y., Tamaki R., Sasaki K.A., ass. ass. Birch Stewart Kolasch& Birch.-041491; fil.10.01.2002 ; date 10.10.200. [Електронний ресурс] Режим доступу-http://www.freepatentsonline.

143. Pat.US4647606 United States Int.Cl.CO8H 5/00, U.S.Cl.524/62 Blend of rapid set asphaltic emulsions with slow set asphalt emulsion. Hahn L., Grossi A., Marzocchi A., Bolen. C., ass.Owens-Corning Fiberglas Corporation, Toledo, Ohio.-453006; fil.27.12.82; date 03.05.87. [Електронний ресурс]. Режим доступу-http://www.freepatentsonline.

144. Pat.US4997868 United States Int.Cl.CO8L 95/00, U.S.Cl. 524/59 Cationic asphalt emulsion. Bianpain. P., Offner R., Mori G., Creak J., ass. Basf Aktiengesellscaft, Ludwigshafen, F.R.G.-182470; fil.18.04.88; date 5.03.91 [Електронний ресурс] Режим доступу-http://www.freepatentsonline.

145. Pat.US5827568A United States Int.Cl.CO8L95/00, U.S.Cl.427/136 Rubber base asphalt emulsion additive. Wickett S. R., ass.Rubber Resources, L.L.C., Houston, Texas.-770125; fil.19.12.96; date 27.10.98 [Електронний ресурс] Режим доступу-http://www.freepatentsonline.

146. Pat.US5928418A United States Int.Cl.CO9D 195/00, U.S.Cl.106/277 Asphalt emulsion. Tamaki R., Sasaki K.A., Funada H., Taniguchi. T. ass. Kao Corporation, Tokyo, Japan.-875732; fil.4.8.97; date 27.06.99.[Електронний ресурс] Режим доступу-http://www.freepatentsonline.

147. Pat.US6156828 United States Int.Cl.CO8I 095/00, U.S.Cl. 524/60 Rubber base asphalt emulsion method. Wickett, Steve R., apl.№ 179015; fil.10.06.98; date12.05.2000 [Електронний ресурс] Режим доступу-http://www.freepatentsonline.

148. Pat.US6706787 United States Int.Cl.CO8I 095/00, U.S.Cl. 524/60 Method for preparing asphalt/polymer emulsion-rubber paving composition. Michael V., Bryan B., ass. Flex Products, Inc., Carlsbad, CA-010281; fil.12.05.2001; date 03.06.2004 [Електронний ресурс]. Режим доступу http://www.freepatentsonline.

149. Pat.US6786961 United States Int.Cl. CO8I 095/00, U.S.Cl.106/277 Stabilizer for asphalt emulsion. Honma Y., Tamaki R., Sasaki K.A., Hirotaka, ass. Kao Corporation, Tokyo, Japan .276095; fil.11.03.2002 ; date 09.07.2004.

150. Johnston John B, King Gayle. Using Polymer Modified Asphalt Emulsionsin Surface Treatments. *A Federal Lands Highway Interim Report.* August 2008. P. 127-129.

151. Shafii1 M. A., Abdul Rahman M. Y., Ahmad J. Polymer Modified Asphalt Emulsion. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS.* 2011.Vol: 11 N 06. P. 43-49. Режим доступу: (PDF) Polymer Modified Asphalt Emulsion (researchgate.net).

152. Sidun Iu, Solodkyy S., Vollis O., Gunka V., Pyryk R., Shits I. Orto-phosphoric acid as an alternative to hydrochloric acid – for cationic bitumen road emulsions. Review. JTBP. 2020. Volume 1. Number 1 :P. 88-93. https://doi.org/10.23939/jtbp2020.01.088.

153. Simaillaud B., Simaillaud Bruno, Maze Mishel, Brule Bernard, Potti Juan Jose Charaterization of the bitumen/water interface by measurement of the interfacial tension. *BLPC*. 2001. №.234. P. 3-14.

154. Size and Charge of Bitumen Emulsions [Електронний ресурс] *Colloidal Dynamics*. 2000. P.1-4. Режим доступу -http://www.colloidal-dynamics.com.

155. Superpave asphalt binder specification. Asphalt Institute Superpave Series №1 (SP – 1), 1993. 69 p.

156. Takamura K. Paving with asphalt emulsions /K. Takamura, A.James //Advances in Asphalt Materials Road and Pavement Construction. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering.– 2015. P. 393-426. Режим доступу: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100269-8.00013-1.

157. Takamura K. SBR latices for asphalt modification: Advantages of fine polymer network formation. *Materials of ISSA Annual Meeting March 2001. Maui, Hawaii*.

158. Takamura K. Improved fatigue resistance of Asphalt emulsion residue modified with SBR Latex //Materials of AEMA Annual Meeting in Nashville.– 2003.

159. Takamura K. Using latex modified asphalt emulsion: view from the colloid scientist. *Materials of UNH Materials Science Seminar*. November 4. 2003 New Hampshire. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://worldaccount.basf.com

160. Test procedure for determine breaking index of asphalt emulsions. (Tex-542-C.). [Publication Date 08.2002.]. Texas department of transportation, 2002. P.1-2.

161. Whiteoak D. The Shell Bitumen Handbook. Surrey: Shell Bitumen UK. 1991. 336 c.

162. Wyszynski A. Produkcja I stosowanie kationowycy emulsji asfaltowych w Polsce *Nawierzchnie asfaltowe*. 2007. №2. P. 9-16

163. Zhu J., Birgisson B., N. Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European polymer journal*. 2014. Volume 54. P. 18-38.

ДОДАТОК А
ДОВІДКИ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Державне агентство автомобільних доріг України
(УКРАВТОДОР)

Служба автомобільних доріг у Харківській області

61202, вул. Ахсарова, 2, м. Харків

тел. (057) 336-83-28
факс (057) 336-80-55
E-mail: **kh_sad@ukravtodor.gov.ua**

"09" 08 2021 р. № 2445/08

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження аспірантки ХНАДУ Новаковської В.Я.

Служба автомобільних доріг в Харківській області підтверджує, що в 2020 році під час виконання робіт в рамках експлуатаційного утримання автомобільної дороги загального користування державного значення Р-78 Харків – Зміїв – Балаклія – Гороховатка на ділянках км 16+104 – км 19+398, км 19+599 – км 22 + 143, км 23 +511 – км 26+620, км 31+820 – км 33+948 км 35+198 – км 36+754 км 37+254 – км 39+154 фахівцями кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету на безоплатній основі здійснювався науково-технічний супровід технології влаштування тонкошарового покриття за технологією поверхневої обробки з одним розсипом щебеню за допомогою дорожньої колони Schafer RZS 14000 згідно з рекомендаціями щодо модифікації катіонних бітумних емульсій водним латексом, розробленими за результатами дисертаційного дослідження аспірантки Новаковської В.Я.

Заступник начальника
з експлуатаційного утримання Михайло БОГАТИР

Олександр Рязанцев, 336-72-81

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)
«25» 11 2015 р.
№ 13-8-120
03680, МСП м. Київ, вул. Фізкультури, 9

Для XIIADY

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок
асистента кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг
Новаковської Вікторії Яківни

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційного дослідження асистента кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг Новаковської В.Я. були використані при виконанні науково-дослідної роботи згідно договору № 54/35-05-06 «Розробити ВБН «Влаштування шарів із сумішей, що містять фрезерований асфальтобетон» (державний реєстраційний № 0106U006068) та договору № 120/35-41-07 «Розробити «Посібник з будівництва асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг, мостів і аеродромів» (державний реєстраційний номер № 0107U004572). За результатами роботи розроблено ВБН В.2.3-218-539:2007 «Влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування із холодних сумішей, що містять фрезерований асфальтобетон» та «Посібник з будівництва асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг, мостів і аеродромів». Також розробки аспіранта Новаковської В.Я були застосовані при виконанні роботи за договором № 114/35-50-11 «Розробити посібник до ДСТУ Б В.2.7-129:2006 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві» (№ держреєстрації 111U005504), за результатами якої і був розроблений відповідний Посібник.

Зазначені нормативно-технічні документи поповнили Фонд галузевих будівельних норм та нормативних документів Укравтодору та використовуються дорожніми підприємствами та організаціями незалежно від форми власності при виконанні відповідних дорожніх робіт.

Начальник Відділу інноваційного
розвитку та кошторисного
ціноутворення Державного агентства
автомобільних доріг України Анатолій Цинка

ТОВ «ЗАВОД УКРБУДМАШ»®

Україна, 36034, м. Полтава, вул. Садовського, 8
т/ф.: (8 1038 05322) 4-16-15; т.: (0532) 66-97-67
Р/с 260022156101 в банку «Фінанси та Кредит»: **МФО** 331832,
ЄДРПОУ 32174727, **ИНН** 321747216015, *Св-во* № 23475222
www.ukrbudmash.com.ua

Исх. № _____**от** _____**2009 г.**
На №_____ **от** _____**2009 г.**

ДОВІДКА
щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження аспіранта ХНАДУ Терлецької В.Я.

За результатами досліджень фізико-механічних властивостей бітумних емульсій з різною швидкістю розпаду, які були виготовлені на емульсійному заводі ТОВ «Укрбудмаш» в період з 2004 р. по 2009 р., в рамках виконання дисертаційного дослідження були надані рекомендації щодо підбору складу бітумних емульсій. Фізико-механічні властивості виготовлених за підібраним складом емульсій відповідали всім вимогам ДСТУ Б В.2.7-129:2006 «Будівельні матеріали. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови». Емульсії використовували на мережі автомобільних доріг загального користування в Полтавській області для виконання ямкового ремонту та підґрунтовки при капітальному ремонті асфальтобетонних покриттів.

При виконанні ДП «Полтавський Облавтодор» ямкового ремонту асфальтобетонних покриттів з використанням швидкорозпадної емульсії за допомогою струмино–ін'єкційної технології були надані рекомендації щодо вимог до мінерального матеріалу та складу емульсії.

Директор Хоменко Н.В.

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
"ПАРКІНГ+"

61030 м.Харків, вул. Диканівська , 51
Код ОКПО 32868719
п/р 2600030126366 в ВАТ Реал Банк м. Харків, МФО 351588

тел. (057) 731 56 37
731 50 21
731 54 06
факс (057) 731 50 95
e-mail: parkingplus@online.ua

Вих.№ від « » 2009р.

ДОВІДКА
щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження аспіранта ХНАДУ Терлецької В.Я.

За результатами досліджень, що отримані в дисертаційній роботі Терлецької В.Я., були розроблені рекомендації щодо підбору складу емульсій катіонних бітумних модифікованих швидкорозпадних для виконання робіт з влаштування армуючого шару з використанням геосинтетичного текстильного нетканого матеріалу Пульсатекс виробництва фірми «Пульсар и К°», м.Рівне.

Згідно з рекомендаціями було виготовлено 19 т емульсії марки ЕКМ-Ш. Виготовлена емульсія використана для підґрунтовки та влаштування 12000 м^2 армуючого шару при ремонті дорожнього одягу на вулиці Пушкінській в м.Харкові.

При виконанні робіт з влаштування підґрунтовки та армуючого шару технологічні властивості виготовленої емульсії задовольняли висунутим вимогам згідно з особливостями технологічного процесу.

Директор ТзОВ «Паркінг +» Чумаков В.М.

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
"ПАРКІНГ+"

61002 м.Харків, вул. Артема, 2 тел. 731-54-06
Код ОКПО 32868719
п/р 2600030126366 в ВАТ Реал Банк м. Харків, МФО 351588

Вих.№267 від «22» октября 2008р.

ДОВІДКА

щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження аспіранта ХНАДУ Терлецької В.Я.

За результатами досліджень, що отримані в дисертаційній роботі Терлецької В.Я., були розроблені рекомендації щодо підбору складу швидкорозпадних катіонних бітумних емульсій та їх виготовлення у виробничих умовах ТзОВ «Паркінг +» на емульсійному заводі виробництва фірми «Укрбудмаш».

Згідно з рекомендаціями було виготовлено 200 т емульсії марки ЕК-Ш та виконано ямковий ремонт асфальтобетонних покриттів на вулично-дорожній мережі м. Харкова за допомогою струмино–ін'єкційної технології в період з липня по жовтень 2008 р. Загальна площа відремонтованих покриттів складає 1350,45 м^2

В табл..1 наведено перелік вулиць, на яких виконувався ямковий ремонт, та площа поверхні відремонтованих асфальтобетонних покриттів.

Таблиця 1

Назва вулиць	Площа поверхні відремонтованих асфальтобетонних покриттів , м^2
Краснодарська	238,6
Корчагінців	205,9
Космічна	76,71
Культури	160,44
Маяковського	55,44
Отокара Яроша	73,66
Новгородська	47,67
Сімферопільське шосе від пр. Гагаріна до р. Уди	147
пр.50 років СРСР	93,16
Р.Ролана	91,1
Короленко	18,5
Гіршмана	103,37
Чайковського	38,9

При виконанні робіт з ямкового ремонту машиною Schafer спостерігалась відмінна приживлюваність емульсійно-мінеральної суміші до поверхні відремонтованої карти.

Директор ТзОВ «Паркінг +» Чумаков В.М.

ДОДАТОК Б
Локальні кошториси

Влаштування поверхневої обробки на модифікованій латексом BUTONAL NS 198 бітумній емульсії

(найменування об'єкта будівництва)

ЛОКАЛЬНИЙ КОШТОРИС № 05-001-005

Поверхнева обробка

(найменування пускового комплексу, будинку, будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

Складений в поточних цінах станом на 14 серпня 2021 р.

Ч.ч.	Шифр	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
	05-001-005	**Поверхнева обробка**				
	Розділ № 1	Поверхнева обробка				
1	ДН2-19-1	Влаштування одиночної поверхневої обробки з одним розсипом щебеню укладальною дорожньою колоною Schafer RZS 14000	1000 м2 покриття	1	15 053,58	15 054
1.1	*ТСО-3*	*Витрати труда робітників-будівельників розряду 3*	*люд-год*	*1,86*	*63,96*	*119*
1.2	*СН203-851*	*Навантажувачі одноковшеві, вантажопідйомність 2 т*	*маш-г*	*0,42*	-	-
1.3	*СН212-102-1ВД*	*Автогудронатори Mersedes-Benz Actros-2655, місткість 10000 л*	*маш-г*	*0,2*	*1 241,29*	*248*
1.4	*СН212-910-ВД*	*Котки дорожні самохідні на пневмоколісному ходу, маса 16 т*	*маш-г*	*0,48*	*643,40*	*309*
1.5	*СН212-1601-ВД*	*Машина поливально-мийна, місткість 6000 л*	*маш-г*	*0,34*	*445,82*	*152*
1.6	*СН212-2000-6ВД*	*Машина для влаштування поверхневих обробок Schafer RZS 14000*	*маш-г*	*0,68*	*2 422,20*	*1 647*
1.7	*С1421-9450*	*Щебінь із природного каменю для будівельних робіт, фракція 5-10 мм, марка М1000 і більше*	*м3*	*11*	*1 106,32*	*12 170*
1.8	*С1555-18*	*Бітуми нафтові дорожні в`язкі*	*т*	*0,8*	-	-
2	С111-1901	Емульсія бітумна, дорожна (додається вартість ресурсу)	т	1,14285714	16 200,71	18 515
		Разом по розділу 1				**33 569**
		Разом по кошторису 05-001-005				**33 569**
		в т.ч.				
		Вартість робіт				2 946
		Матеріали				30 623
		Єдиний податок				1 766,79
		Всього з єдиним податком				**35 335,79**

Склав асистент Новаковська В.Я

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Влаштування поверхневої обробки на модифікованій латексом BUTONAL NS 198 бітумній емульсії

(найменування об'єкта будівництва)

ЛОКАЛЬНИЙ КОШТОРИС № 05-001-001

Поверхнева обробка

(найменування пускового комплексу, будинку, будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

Складений в поточних цінах станом на 14 серпня 2021 р.

Ч.ч.	Шифр	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
	05-001-001	**Поверхнева обробка**				
	Розділ № 1	Поверхнева обробка				
1	ДН2-19-1	Влаштування одиночної поверхневої обробки з одним розсипом щебеню укладальною дорожньою колоною Schafer RZS 14000	1000 м2 покриття	1	15 053,58	15 054
1.1	*ТСО-3*	*Витрати труда робітників-будівельників розряду 3*	*люд-год*	*1,86*	*63,96*	*119*
1.2	*СН203-851*	*Навантажувачі одноковшеві, вантажопідйомність 2 т*	*маш-г*	*0,42*	-	-
1.3	*СН212-102-1ВД*	*Автогудронатори Mersedes-Benz Actros-2655, місткість 10000 л*	*маш-г*	*0,2*	*1 241,29*	*248*
1.4	*СН212-910-ВД*	*Котки дорожні самохідні на пневмоколісному ходу, маса 16 т*	*маш-г*	*0,48*	*643,40*	*309*
1.5	*СН212-1601-ВД*	*Машина поливально-мийна, місткість 6000 л*	*маш-г*	*0,34*	*445,82*	*152*
1.6	*СН212-2000-6ВД*	*Машина для влаштування поверхневих обробок Schafer RZS 14000*	*маш-г*	*0,68*	*2 422,20*	*1 647*
1.7	*С1421-9450*	*Щебінь із природного каменю для будівельних робіт, фракція 5-10 мм, марка М1000 і більше*	*м3*	*11*	*1 106,32*	*12 170*
1.8	*С1555-18*	*Бітуми нафтові дорожні в`язкі*	*т*	*0,8*	-	-
2	С1633-95ВД	Бутонал SL 198 Обсяг = (1,1428571 * 70,0 * 3,0 / (100,0 * 64,0))*1,0	т	0,0375	128 093,88	4 804
3	С111-1901	Емульсія бітумна, дорожна (додається вартість ресурсу)	т	1,14285714	16 200,71	18 515
		Разом по розділу 1				**38 373**
		Разом по кошторису 05-001-001				**38 373**
		в т.ч.				
		Вартість робіт				2 962
		Матеріали				35 411
		Єдиний податок				2 019,63
		Всього з єдиним податком				**40 392,63**

Склав асистент Новаковська В.Я

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

ДОДАТОК В

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

2. **Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:**V. Zhdaniuk, V. Novakovska Estimating the effect of aqueous cationic latex from the class of thermal elastic plastics on the properties of bitumen emulsions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №4 (6(112)). P. 24-32. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237323.

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька, О. М. Кривохижа, С. М. Микитенко. До питання про застосування емульсій бітумних дорожніх при будівництві та ремонті автомобільних доріг. *Автошляховик України*. 2005. №6. С. 33- 35.

3. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька. Дослідження властивостей емульгаторів для дорожніх бітумних емульсій. *Вісник ХНАДУ*. 2006. Вип. 34 - 36. С. 142-145.

4. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька. Катіонні бітумні емульсії модифіковані водним катіонним латексом. *Автошляховик України*. 2008. №1. С. 32-36.

5. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька. Термодинамічні властивості катіонних бітумних емульсій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наукових праць*. Київ, *НТУ*. 2008. Вип.75. С. 150-153.

6. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецька. Властивості катіонних бітумних емульсій модифікованих водним катіонним латексом “Butonal NS 198”. *Вісник ХНАДУ*. 2008. Вип. 40. С. 17-20.

7. В. К Жданюк, В. Я. Терлецкая. Взаимосвязь термодинамических и физико-механических характеристик катионных битумных эмульсий. *Дороги і мости: зб. наукових праць*. 2009. Вип. 11. С. 343-349.

8. В. Я. Новаковська. Дослідження процесу розпаду бітумних та модифікованих бітумних емульсій. *Зб. наукових праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип. 157. С. 92-97.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9 В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая Особенности модифицирования битумных эмульсий полимерами. «*Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве».* Материалы VII Международной научно-технической интернет-конференции. Х.: ХНАГХ. 2006. С. 53-54.

10. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая, Ю. Г. Чугуенко. Свойства битумных эмульсий, модифицированных полимерами. *«Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства»*. Материалы II международной научно-технической интернет-конференции. Х.: ХНАГХ. 2007. С. 146-147.

11. Е. А. Аринушкина, С. В. Бородина, В. Я. Терлецкая. Влияние полимера класса термоэластопластов на свойства катионных битумных эмульсий. *«Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии»*. Сборник докладов международной научно-практической конференции. Белгород. 2007. Часть 4. С. 311-312.

12. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая, Е. А. Аринушкина. Сравнительное исследование скорости распада битумных и битумно-полимерных эмульсий. *«Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве».* Материалы VII Международной научно-технической интернет-конференции Х.: ХНАГХ. 2007. С. 15-17.

13. В. К. Жданюк, В. Я. Терлецкая. Свойства битума, выделенного из катионных дорожных битумных эмульсий. *«Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог»*. Материалы международной научно-технической конференции молодых учёных и аспирантов Х.: ХНАДУ. 2008. С. 201-204.

14. В. К. Жданюк, Е. И. Артамонова, Е. А. Аринушкина, В. Я. Терлецкая. Катионные дорожные битумные эмульсии с добавкой водного латекса «Butonal NS 198» для дорожного строительства. «*Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях»*. Материалы Девятой ежегодной международной Промышленной конференции, п. Славское. 2009. С. 25-227.

15. В. Я Терлецкая, В. К. Жданюк. Існуючі уявлення про структуру катіонних бітумних емульсій з добавками полімерів. *«Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів»*. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожнього факультету. Харків. 2010. С. 163-168.

16. В. Я. Новаковская, В. К. Жданюк. Аналіз впливу водного катіонного латексу Butonal NS 198 на властивості бітумних катіонних емульсій та залишкового в'яжучого. *«Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті».* Тези доповідей 8-ої міжнародної науково-технічної конференції. 2019. ч. 2. Харків: УкрДУЗТ. С. 176-177.

Опубліковані праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:

Нормативні документи:

1. Посібник до ДСТУ Б В.27-129 щодо технологій приготування та застосування катіонних бітумних емульсій в дорожньому будівництві» (державний реєстраційний № 0111U005504).

2. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-129:2013. - [Чинний від 22.07.2013] . – К: Мінрегіон. – 2014. 21 с. (Національні стандарти України).