

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

СКРИПЧЕНКО ОЛЕКСАНДРА В'ЯЧЕСЛАВІВНА

УДК 625.75:625.089.1:625.032.32(043.5)

ПІДВИЩЕННЯ ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Спеціальність: 05.22.11 – Автомобільні шляхи і аеродроми

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Краюшкіна Катерина Вікторівна,
кандидат технічних наук

КИЇВ – 2017

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ШОРСТКОТІ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	
1.1 Теоретичні дослідження параметрів шорсткості покриттів автомобільних доріг та зчеплення дорожнього покриття з шинами автомобілів	11
1.2 Аналіз впливу зчіпних якостей дорожніх покриттів на режими руху транспорту та безпеку.....	15
1.3 Аналіз існуючих математичних моделей зчеплення колеса із дорожнім покриттям.....	20
1.4 Методи підвищення зчіпних властивостей покриттів автомобільних доріг.....	26
1.5 Висновки за розділом.....	39
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ З ГУМОЮ ПРОТЕКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ	
2.1 Процес взаємодії колеса з поверхнею проїзної частини.....	40
2.2 Моделювання поверхні дорожнього покриття.....	59
2.3. Моделювання кам'яного матеріалу на поверхні покриття.....	71
2.4. Обробка зображення відбитку шини на частинах кам'яного матеріалу.....	74
2.5. Опис розробленого програмного забезпечення.....	81
2.6. Висновки за розділом.....	84
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО- МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦЕМЕНТНОЇ СУМІШІ ДЛЯ ШОРСТКОГО ТОНКОШАРОВОГО ЦЕМЕНТНОГО ПОКРИТТЯ	
3.1. Передумови обрання цементної суміші як матеріалу тонкошарового покриття автомобільної дороги.....	85

3.2. Застосування фібри різного типу в цементобетонних сумішах.....	87
3.3. Проведення лабораторних досліджень щодо визначення фізико-механічних властивостей цементної суміші.....	95
3.4. Проведення лабораторних досліджень щодо визначення фізико-механічних властивостей цементної суміші з використанням базальтової фібри нанесеного на асфальтобетонні зразки.....	103
3.5. Висновки за розділом.....	107
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ШОРСТОКОГО ТОНКОШАРОВОГО ЦЕМЕНТНОГО ПОКРИТТЯ	
4.1. Опис дослідної ділянки автомобільної дороги.....	108
4.2. Визначення якості існуючого асфальтобетонного покриття.....	113
4.3. Технологія нанесення цементної суміші на існуюче покриття....	117
4.4. Вимірювання коефіцієнта зчеплення на дослідній ділянці.....	119
4.5. Економічна ефективність застосування шорсткого тонкошарового цементного покриття.....	124
4.6. Висновки за розділом.....	138
Загальні висновки.....	139
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	142
Додаток А. Моделювання кам'яного матеріалу на поверхні покриття автомобільної дороги.....	154
Додаток Б. Вимірювання площі контакту шини з поверхнею проїзної частини.....	156
Додаток В. Результати вимірювання коефіцієнта зчеплення на дослідній ділянці.....	160
Додаток Г. Акти впровадження.....	162

ВСТУП

Актуальність теми

Дорожня галузь – це головна складова частина транспортної системи України. Саме розвиток автомобільних доріг забезпечував економічний підйом багатьох країн світу.

Взятий Україною курс на Європейську інтеграцію вимагає забезпечення експлуатаційного стану доріг відповідно до вимог сучасного руху транспортних засобів.

В Україні, як і в усьому світі, асфальтобетонні покриття улаштовані на 90 % доріг, тому підвищення їх експлуатаційних показників, зокрема шорсткості є головною умовою забезпечення безпеки руху автомобілів.

Забезпечення безпеки руху транспортних засобів здійснюється завдяки достатньому зчепленню колеса автомобіля з асфальтобетонним покриттям, що оцінюється такими факторами:

- вимірюванням коефіцієнту зчеплення;
- визначенням структури показників, що обумовлюють геометричні характеристики шорсткості асфальтобетону в покритті.

Коефіцієнт зчеплення надає кількісну характеристику процесу взаємодії колеса автомобіля з поверхнею покриття. Величина коефіцієнту зчеплення впливає не тільки на швидкість, окремих автомобілів чи транспортного потоку, але й на дистанцію між автомобілями у транспортному потоці.

Однак за величиною коефіцієнту зчеплення не можливо виявити причини зниження зчіпних властивостей асфальтобетонного покриття в процесі експлуатації, тому що це в більшості випадків це пов'язано з шорсткістю поверхні.

Покращення зчіпних (фрикційних) властивостей це один із найбільш ефективних заходів підвищення безпеки руху автомобілів, завдяки чому

можна попереджувати утворення місць концентрації дорожньо-транспортних пригод (ДТП) або знижувати ймовірність їх виникнення.

Існуючі способи підвищення зчіпних властивостей і шорсткості асфальтобетонного покриття базуються на використанні сумішей кам'яних матеріалів з бітумом або улаштуванні шару щебенево-мастикового асфальтобетону (ЩМА). Це не завжди забезпечує нормативні значення коефіцієнту зчеплення вже після першого року експлуатації відремонтованого покриття.

Таким чином, актуальним є удосконалення способу підвищення шорсткості існуючого асфальтобетонного покриття улаштуванням шару із шорсткої цементної суміші, розробка складу і технології нанесення шорсткого цементного шару, випробування в натурних умовах експлуатації і розробки рекомендацій щодо подальшого впровадження на дорогах України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертація спрямована на реалізацію «Концепції Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 р.» (постанова Кабінету Міністрів України (КМУ) від 8.08.2012, №771), «Транспортної стратегії України на період до 2020 р.» (розпорядження КМУ від 20.10.2010, №2174), «Концепції сталого розвитку населених пунктів України» (постанова Верховної Ради України від 24.12.99, №1359 – XIV), Указу Президента України «Про пріоритетні завдання у сфері містобудування» (13.05.1997, №422) та принципів сталого розвитку населених пунктів України (Закон України «Про основи містобудування», №2257-III). Задача пов'язана з держбюджетною та госпдогвірною тематикою кафедри «Підвищення шорсткості асфальто- і цементобетонних покриттів автомобільних доріг та аеродромів», 2016 р. (державний реєстраційний номер 0115U002470), «Розробити методичні рекомендації з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг з цементобетонним покриття», 2013-2014 р.р. (державний

реєстраційний номер 024U008190) темами дипломних проєктів, магістерськими програмами й спецкурсами.

Мета дисертаційної роботи

Метою роботи є удосконалення зчіпних властивостей асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг за рахунок улаштування шорсткого тонкошарового цементного покриття виготовленого з цементної суміші.

Задачі дослідження

1. Виконати аналіз існуючих методів підвищення зчіпних властивостей асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг;
2. Провести дослідження з визначення та прогнозування параметрів шорсткості асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг, а також розробити модель стану поверхні асфальтобетонного покриття з урахуванням динаміки погіршення шорсткості та коефіцієнту зчеплення в період експлуатації під дією руху автотранспорту.
3. Виконати аналіз параметрів шорсткості покриття автомобільної дороги за допомоги методу комп'ютерного зору та розробити модель автоматизованого процесу взаємодії протектору шини з поверхнею покриття автомобільної дороги.
4. Розробити склад суміші для улаштування шорсткого тонкошарового цементного покриття, з урахуванням дійсних параметрів шорсткості асфальтобетонного покриття, експериментально підтвердити оптимальність підбраного складу суміші з визначенням фізико-механічних властивостей.
5. Провести дослідження по визначенню можливості використання базальтової фібри для дисперсного (хаотичного) армування цементної суміші, визначити оптимальну кількість введення фібри.
6. Розробити технологію нанесення цементної суміші на існуюче асфальтобетонне покриття.

7. Провести дослідження з визначення коефіцієнту зчеплення улаштованого шорсткого тонкошарового цементного покриття.

8. Визначити економічну ефективність улаштування шорсткого тонкошарового цементного покриття.

Об'єкт дослідження

Шорсткість поверхні дорожнього покриття.

Предмет дослідження

Оптимальні принципи підвищення шорсткості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг, для гарантування безпеки руху транспортних засобів.

Методи дослідження

Методи натурних обстежень та комп'ютерного зору; розробка оптимального складу шорсткої цементної суміші, лабораторні нормативні методи дослідження фізико-механічних властивостей цементної суміші, визначення зчеплення з існуючим асфальтобетонним покриттям, зі статистичною обробкою даних, математичної статистики для обробки підсумків експериментів, математичне моделювання взаємодії колеса автомобіля з поверхнею асфальтобетонного покриття для визначення параметрів шорсткості асфальтобетону.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше теоретично визначена і натурними дослідженнями підтверджена можливість улаштування шорсткого тонкошарового цементного покриття на нежорстку основу (існуюче асфальтобетонне покриття);

- вперше отримані експериментальні дані параметрів шорсткості зі застосуванням обробки зображення відбитку протектору шини на поверхні асфальтобетонного покриття за методом комп'ютерного зору;

- удосконалено процес моделювання поверхні асфальтобетонного покриття для прогнозування зміни зчіпних властивостей в процесі

експлуатації під дією автотранспорту, підбору оптимального складу цементної суміші з урахуванням параметрів шорсткості.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблений склад суміші для шорсткого тонкошарового цементного покриття, з урахуванням параметрів шорсткості покриття автомобільної дороги та експериментально підтверджено її оптимальний склад та фізико-механічні характеристики;

- проведені дослідження по визначенню можливості використання базальтової фібри для дисперсного (хаотичного) армування цементної суміші, визначена оптимальна кількість введення фібри;

- розроблено технологію нанесення цементної суміші на існуюче асфальтобетонне покриття;

- розроблені рекомендації щодо методів ремонту та експлуатаційного утримання шорсткого тонкошарового цементного покриття.

Особистий вклад здобувача:

- виконане математичне моделювання, комп'ютерне моделювання поверхні покриття, а також окремо моделювання кам'яного матеріалу на цій поверхні, було визначено оптимальні параметри шорсткості покриття, а також прогнозування параметрів шорсткості покриття автомобільних доріг у період експлуатації [84];

- для порівняння параметрів, отриманих комп'ютерним моделюванням було виконано зйомку місць дотику шини автомобіля з поверхнею покриття, і кам'яним матеріалом в цілому, що дозволило з використанням методу комп'ютерного зору оцінити параметри кам'яного матеріалу та параметри шорсткості з використанням оператора Кенні та градієнтним переходом кольору на знімках поверхні [85];

- змодельований процес взаємодії протектору шини з поверхнею покриття автомобільної дороги та обґрунтовані параметри шорсткості дали

можливість підбору оптимального складу суміші для улаштування поверхневої обробки [87];

- проведені лабораторні дослідження по визначенню можливості використання базальтової фібри для дисперсного (хаотичного) армування цементної суміші показали, що застосування матеріалу призвело до покращення фізико-механічних властивостей дисперсно-армованих матеріалів [88, 104];

- моніторинг коефіцієнту зчеплення впродовж 1,5 року показує, що по своїм середнім значенням коефіцієнт зчеплення після укладання суміші відповідає вимогам ДСТУ, виконано кошторисний розрахунок вартості будівництва даного покриття, та розраховано економічний ефект від застосування даної технології відновлення шорсткості [105, 112].

Апробація результатів роботи

Основні положення та результати дисертації доповідались і обговорювались на 9 міжнародних конференціях та конгресах, 1 всеукраїнській: I Міжнародному науково-практичному конгресі «Міське середовище – XXI сторіччя» – «Архітектура. Будівництво. Дизайн» (10 – 14 лютого 2014 р., Національний авіаційний університет (НАУ), Київ), Друга всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених “Молодь: наука та інновації” (2-3 грудня 2014 р., Державний ВНЗ «НГУ», Дніпропетровськ); XII Міжнародна науково-технічної конференція «Авіа-2015» (28-29 квітня 2015р., Національний авіаційний університет (НАУ), Київ); II Міжнародному науково-практичному конгресі «Міське середовище – XXI сторіччя» – «Архітектура. Будівництво. Дизайн» (15 – 18 березня 2016 р., НАУ, Київ), 18-а Міжнародна наукова конференція молодих вчених та студентів «Наука – майбутнє Литви. Інженерія транспорту та організація перевезень» Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (4-5 травня 2015 р., м. Вільнюс, Литва), 9-а Міжнародна наукова конференція «ТРАНСБАЛТИКА-2015» Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (8-9 травня 2015 р., м. Вільнюс, Литва), XIX Міжнародна наукова

конференція студентів і молодих учених «Наука-майбутнє Литви. Транспорт» (5 - 8 травня, 2016 р., м. Вільнюс, Литва), 15th International scientific conference “Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development” (12-15 September 2016, м. Санкт-Петербург, Російська Федерація), 7 Всесвітньому конгресі "Авіація у ХХІ столітті" – "Безпека в авіації та космічні технології" (19-21 вересня 2016 р., Національний авіаційний університет м. Київ, Україна), The Transport Research Arena Conference 2016 (from 18 to 21 April 2016, м. Варшава, Польща).

Публікації

За темою дисертації опубліковано 16 праць, зокрема 6 статей у фахових виданнях, з них 1 стаття у виданні, що індексовано в міжнародних наукометричних базах Web of Science та Scopus, 1 стаття у виданні, що індексовано в міжнародній наукометричній базі Index Copernicus, та 10 публікацій за матеріалами конференцій та конгресів.

Структура і обсяг роботи

Дисертація містить вступ, 4 розділи, загальні висновки, список використаних джерел зі 116 найменувань (36 – англійською мовою) на 12 стор., 4 додатків на 15 стор., 52 рис. і 17 табл. Загальний обсяг дисертації – 162 стор., основного тексту – 147 стор.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ШОРСТКОТІ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1.1. Теоретичні дослідження параметрів шорсткості покриттів автомобільних доріг та зчеплення дорожнього покриття з шинами автомобілів

Автомобільні шляхи є важливою складовою транспортної системи кожної країни. Вони забезпечують здійснення перевезень найбільш доступним для широкого кола користувачів автомобільним транспортом і дозволяють робити доставку вантажів та пасажирів в зазначені терміни із збереженням безпечних та комфортних умов руху.

Соціально-економічний розвиток країни, її інтеграція у світове співтовариство багато в чому залежать від розвиненості транспортної інфраструктури, в тому числі від кількості автомобільних доріг. Наявність мережі автомобільних доріг та її технічний стан є важливими показниками цивілізованості країни, це суттєво впливає на темпи розвитку економіки, рівень витрат з транспортування вантажів і пасажирів, якість і ціну продукції, мобільність, рівень статку населення, транспортну доступність населених пунктів та екологічний стан навколишнього середовища.

В останній час у світі кожен рік виробляють понад 50 млн. автомобілів. У тому числі 10 млн. вантажних автомобілів, тягачів і автобусів. Чисельність автопарку в світі на даний час складає приблизно 650 млн. одиниць, а у 2000 році перевищила 700 млн. автомобілів [1]. Спостерігається збільшення вантажопід'ємності автомобілів в середньому на 10-15 % кожні 10 років [2].

Приблизно половина продукції, що виробляється у країнах Східної Європи і дві третини у країнах Західної Європи перевозиться автомобільним транспортом. У кінцевій вартості продукції транспортні витрати нерідко досягають 20 % [3]. Стан мережі автомобільних доріг опосередковано

впливає на економічну ефективність кожної галузі народного господарства, а особливо на ефективність сільського господарства і переробних галузей.

В Україні, як і багатьох країнах Європи, мережа автомобільних доріг сформована. Будівництво нових автомобільних доріг вимагає великих капіталовкладень і пов'язано з складністю відведення земель. Тому, переважно шляхом реконструкції, можна підвищити пропускну здатність і безпеку руху на автомобільних дорогах, а відповідно й ефективність роботи автомобільного транспорту [4, 5, 6]. Більшість існуючих автомобільних доріг України побудовано у першій половині минулого сторіччя. Статистика дорожньо-транспортних пригод свідчить, що одним з факторів, що призводять до аварій, є в багатьох випадках стан покриття. Було виявлено, що рух транспортних засобів призводить до нерівномірного зносу покриття по площині [7]. Таким чином зниження коефіцієнту зчеплення відбувається по смугах накату, а простір між ними поступово забруднюється мастилом та викидами. Неоднорідна якість покриття та його зчпні якості вздовж площини можуть призводити до занесення автомобіля, яке є дуже небезпечним.

На шорсткому покритті втрата бокової стійкості спостерігається при швидкості 90 – 100 км/год. Особливо часто занесення спостерігається на слизькому, забрудненому покритті, коли можливість колеса до опору дій бокових сил зменшується, будь який незначний фактор (порив вітру, нерівність, маневр) може викликати занесення. Тому вважається, що на слизькій, забрудненій дорозі, навіть в аварійній ситуації водіям необхідно виконувати гальмування з меншою інтенсивністю, щоб уникнути занесення. Умови гальмування на смугах із різними зчпними якостями можна порівняти з гальмуванням автомобіля при нерівномірній роботі гальм, що широко вивчено в автомобілебудуванні [8].

Для забезпечення якісного та економічного ремонту автомобільних доріг необхідний цілісний підхід, що включає діагностику стану автомобільної дороги та проведення ремонтних робіт з мінімальним

перешкоджання руху транспортних засобів. Ця проблема не є новою, але з підвищенням інтенсивності руху транспортних засобів та зміною їхнього складу в бік вантажних, зі збільшення у свою чергу вантажопідйомності транспортних засобів, виникла проблема непрогнозованої зміни стану покриття з передчасним його руйнуванням та втратою його транспортно-експлуатаційних властивостей.

Існує велика кількість різноманітних видів деформацій, серед яких лущення, поздовжні та поперечні тріщини, просідання, пучиноутворення та інші. Такі деформації також викликаються низькою якістю технології будівництва, відсутністю якісних матеріалів та хімічних домішок, надмірним впливом сольових розчинів. Досвід проведення ремонтних робіт на дорогах України свідчить про те, що дефекти на них з'являються протягом перших років експлуатації.

Сучасна концепція експлуатації автомобільних доріг передбачає виконання ремонтних робіт на ранній стадії пошкодження поверхневого шару покриття, для запобігання розвитку та накопичення деформацій. Основним засобом підвищення коефіцієнту зчеплення є утворення шорсткої поверхні, що забезпечить необхідні експлуатаційні властивості дороги, у тому числі при несприятливому стані покриття. Значна частина концепцій по забезпеченню шорсткості дорожніх покриттів зводиться до того, що верхній шар покриття є самостійним важливим конструктивним елементом автомобільної дороги. Цей шар проектується з метою підвищення комфорту та безпеки руху, забезпечення необхідної швидкості. Він повинен забезпечувати екологічну безпеку, економічність, простоту утримання. Однак до теперішнього часу не сформульовано єдиного підходу до вивчення, нормування та проектування поверхневого шару. Існуючі методи забезпечують вирішення окремих задач, найчастіше пов'язаних із підвищення коефіцієнту зчеплення [9]. Коефіцієнт зчеплення дає кількісну характеристику процесу взаємодії колеса з покриттям. Однак за величиною коефіцієнта зчеплення не можливо виявити причини низьких зчепних якостей

покриттів, які в більшості випадків пов'язані із шорсткістю їх поверхні. Також, коефіцієнт не дає достовірної інформації про стан покриття в широкому діапазоні швидкостей: для різних типів покриття значення коефіцієнту зчеплення, які виміряні при одній швидкості руху, можуть співпадати, а при інших швидкостях – вони відрізняються.

Оцінювання зчіпних якостей покриття за геометричними параметрами є можливим шляхом встановлення математичних залежностей між певними параметрами шорсткості та коефіцієнтом зчеплення, який слугуватиме комплексним показником оцінювання зчіпних якостей. Такий метод є можливим із використанням профілографів для оцінки геометричних параметрів покриття. У роботах Ларіна О. Н., Левіна Ю. С., Крагельського І. В. [10-12] та інших використовуються декілька параметрів шорсткості поверхні, емпіричні залежності та комплексні показники, що описують форму виступів шорсткості.

Серед теоретичних розробок можна виділити роботу Павлюка Д. О., де побудовано модель поверхні покриття з використанням середньої глибини впадин шорсткості, середнього радіусу виступів шорсткості та щільності виступів шорсткості, які є усередненими значеннями вимірювань [13]. На основі цієї моделі Ільченко В. В. було розроблено методику оцінювання зчіпних якостей дорожнього покриття за параметрами шорсткості, що дозволило оптимізувати процес оцінки транспортно-експлуатаційних показників доріг за рахунок скорочення обсягу робіт при їх обстеженні до достатнього мінімуму, а також виявити причини низьких зчіпних якостей покриттів і встановити шляхи їх покращення [14].

У результаті багаторічних спостережень за традиційними асфальтобетонним покриттям Немчиновим М. В. [15] встановлено графічну залежність динаміки зміни коефіцієнта зчеплення від мікро- і макрошорсткості покриття, яка, в свою чергу, залежить від інтенсивності і складу транспортного потоку. Загальна закономірність зміни шорсткості покриття представлена у вигляді:

$$R(t) = a \cdot e^{-b} N_p + c, \quad (1.1)$$

де $R(t)$ – середня висота макрошорсткості, мм;

N_p – кількість автомобілів;

a, b, c – коефіцієнти, що залежать від розміру щебеню, твердості покриття та складу транспортного потоку.

Ця залежність може бути використовується для порівняння динаміки зміни коефіцієнта зчеплення асфальтобетонних покриттів [16].

Таким чином, розроблення досконалої методики оцінювання зчіпних якостей автомобільної дороги дозволяє оптимізувати процес оцінки транспортно-експлуатаційних показників автомобільної дороги, виявити причини низьких зчіпних якостей, що в свою чергу дозволить знайти відповідний засіб для підвищення цих показників, зокрема, шорсткості покриття. Покращення зчіпних якостей дорожніх покриттів розглядається як один з найефективніших заходів щодо поліпшення активної безпеки автомобільних доріг, під якою розуміється їх властивість запобігати ДТП (дорожньо-транспортна пригода) або зменшувати ймовірність їх виникнення [17].

Бачимо що зчіпні якості покриття автомобільної дороги в значній мірі залежать від кам'яного матеріалу покриття. Від його розташування стосовно вісі руху транспортного засобу, характеру його розподілу по поверхні і, звісно, геометричних характеристик – розміру та форми.

1.2. Аналіз впливу зчіпних якостей дорожніх покриттів на режим руху транспорту та безпеку

Існує велика кількість робіт присвячених вивченню впливу зчеплення колеса з покриттям на режими руху транспортних, швидкість автомобілів у транспортному потоці [18].

В роботі Брайловського С. С. [19] зазначено, що водій обирає швидкість руху на горизонтальній кривій, що забезпечить проїзд по ній. Швидкість залежить від радіусу кривої та коефіцієнта зчеплення. Слід зазначити, що вибір ґрунтується не на чисельному значенні φ (більшість водіїв мають лише поверхневі поняття про зчпні характеристики дорожніх покриттів), а на інтуїції, засади якої виникають в процесі руху. Так само і з рухом по прямолінійних ділянках доріг.

Швидкість одинарних автомобілів в залежності від коефіцієнта зчеплення φ визначали А.Н. Нечаєв і І. А. Орехов [20]. В результаті обчислень отримали формули, які в залежності від категорії доріг (І-ІІІ категорії) мають вигляд:

$$\begin{aligned} V &= 127,8\varphi^{0,467} \\ V &= 104,7 \varphi^{0,464} \\ V &= 84,2 \varphi^{0,463}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення.

В. М. Сегеркранцом [21] отримано залежність середньої швидкості автомобілів в залежності від коефіцієнта зчеплення φ :

$$V = 55,51 + 39,71\varphi - 29,44\varphi^2 \quad (1.3)$$

Також Сегеркранцом В. М. було зроблено висновок про примусове регулювання швидкостей, оскільки частина водіїв у складних умовах не здатна вибрати безпечну швидкість.

Коефіцієнт зчеплення впливає не тільки на швидкість окремих автомобілів чи транспортного потоку, важливим є його вплив на дистанцію і між автомобілями у загальному потоці. Результати досліджень, виконаних В.П. Расниковим, Н. Ф. Хорошиловим і В. В. Сільяновим, наведені на рисунку 1.1 [22]. Таким чином зчпні властивості дорожніх покриттів визначають і пропускну здатність дороги, оскільки впливають на відстань між автомобілями та їх швидкість [22].

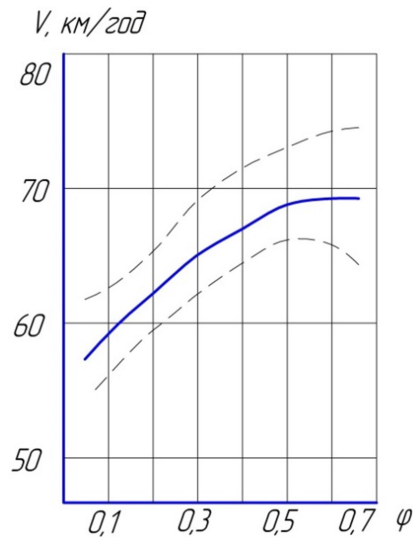


Рис. 1.1. Залежність середньої швидкості автомобілів від φ

Безпечним, рух автомобілів може вважатись при можливості зупинки на потрібній відстані або зміни напрямку руху. Дорожньо-транспортні пригоди, трапляються при відсутності такої можливості. Це зазвичай трапляється при недостатньому зчепленні шин з покриттям автомобільної дороги [15].

Численні дослідження [23] встановили, що 48% ДТП трапляються через незадовільні дорожні умови, а також через слизькість дорожнього покриття.

Аналіз ДТП [24] вказує, що слизькість покриття займає друге місце після «перевищення швидкості». Найчастіше ДТП може виникнути внаслідок декількох взаємопов'язаних і впливаючих одна з другої причин. Роль зчіпних властивостей дорожніх покриттів виявляється в тому, що при незначному коефіцієнті зчеплення ($\varphi < 0,4$) навіть повільне гальмування може викликати блокування коліс з усіма витікаючими наслідками (рис. 1.2.). Такими може бути занесення автомобіля, з вірогідністю ДТП у 60% [25].

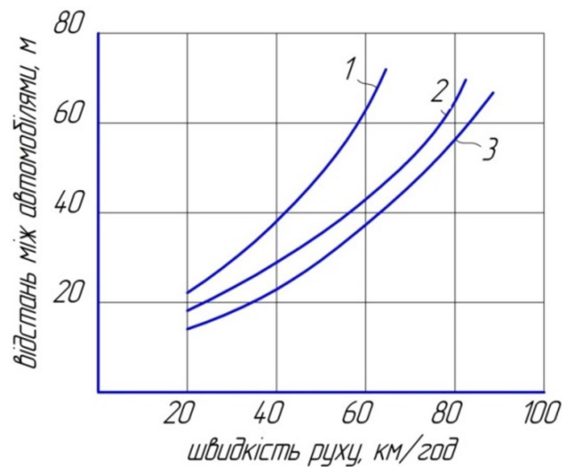


Рис.1.2. Залежність відстані між автомобілями від швидкості при різних станах проїзної частини: 1 – покрита льодом, 2 – мокра, 3 – суха

При аналізі ДТП найчастіше вважається, що винуваті водії. Формулювання причин ДТП звучить як невиконання правил дорожнього руху, використання неправильних прийомів керування, знижена працездатність, внаслідок хвороби, перевтоми, чи сп'яніння, незадовільний стан транспортного засобу і таке інше [26]. Все це пов'язане з недостатнім розповсюдженням засобів для оцінки стану дорожнього покриття, і зчіпних властивостей в окремому випадку.

Дослідження англійської транспортної і дорожньої дослідної лабораторії показали, що після вимірювання коефіцієнта зчеплення портативними приладами кількість ДТП, що відносились до категорії пов'язаних з незадовільними дорожніми умовами, значно зросла [27].

За правилами водій має змінити напрямок або швидкість руху після оцінки необхідності цього. Таким чином, водіїв не можна звинувачувати в перевищенні швидкості в місцях з недостатніми зчіпними властивостями покриття [28].

Косарев Б. М. [29] стверджував, що при русі по мокрій дорозі водія не можна звинувачувати в порушенні правил дорожнього руху (який вимагає дотримуватися швидкості, що відповідає дорожнім умовам), з

причин недостатнього зчеплення, а з тим слід зняти з нього відповідальність за ДТП.

Таким чином мінімальне значення коефіцієнта зчеплення повинні гарантувати служби будівництва та експлуатації доріг. Щодо небезпечних ділянок вони мають виявлятися і вчасно ремонтуватися. Виходить, що забезпечення необхідних зчіпних властивостей при зношенні дорожнього покриття, має розглядатися дорожньо-експлуатаційною службою як позачергове.

Незважаючи на вищенаведене огляд літературних джерел показує, що велика частина ДТП стається через недостатній коефіцієнт зчеплення або надмірну слизкість дорожніх покриттів [30].

Використання шин з поглибленим протектором може зменшити вплив зволоження покриття на безпеку дорожнього руху. Проте вибіркові дослідження показують, що у одного з десяти автомобілів глибина не перевищує 1 мм [31]. В такому випадку за безпеку руху транспортного засобу в значній мірі відповідає сам водій.

Таким чином, вирішення питань взаємодії протектора шини з поверхнею проїзної частини, питання зчіпними якостями дорожніх покриттів, слід вважати одним із найважливіших, оскільки вони сприяють підвищенню безпеки руху на транспортних засобах. А зчіпні властивості дорожнього покриття мають вплив на швидкість транспортного потоку, на який впливає сприйняття учасниками руху інформації про стан і структуру поверхні покриття.

Отже, зчіпні властивості дорожніх покриттів це один із найважливіших факторів, що визначають режими руху автомобілів. Це зумовлює актуальність досліджень, направлених на їх удосконалення і врахування при розробці заходів щодо організації дорожнього руху з метою підвищення ефективності роботи автомобільного транспорту.

1.3. Аналіз існуючих математичних моделей зчеплення колеса із дорожнім покриттям

В процесі експлуатації автомобільних доріг спостерігається нерівномірний знос по поверхні покриття та по всій його довжині. Цьому процесу сприяє багато факторів, таких як значна кількість великовагових автомобілів у складі транспортного потоку, а також режими та умови їх руху, технологія будівництва і експлуатаційного утримання автомобільної дороги, використані матеріали та інше. Також слід враховувати, що більшість автомобільних доріг в Україні побудована ще за старими нормативними документами і розрахунковими характеристиками. Все це негативно впливає на зчипні якості покриттів, а з часом утворюються, так звані, зони з різноманітними зчипними якостями.

За результатами статистичних спостережень, водії, частіше всього, рухаються з приблизно однаковою швидкістю, без маневрів і частіше за все не можуть оцінити стан покриття по всій площині, або оцінюють його невірно. Це призводить до того, що під час виконання маневру можливе виникнення небезпечної ситуації, пов'язаної із обранням водієм режиму руху, що не відповідає реальній ситуації.

Для обрання раціонального способу ремонту покриттів необхідно правильно оцінити фактори, що впливають на процес зменшення зчипних якостей покриття автомобільної дороги. Адже ефективність роботи та безпека руху автомобільного транспорту в значній мірі залежить від транспортно-експлуатаційних якостей автомобільних доріг. У значній мірі це стосується стану дорожнього покриття, яке повинно забезпечувати надійний контакт з шинами автомобілів.

Огляд літературних джерел та нормативної літератури показує [32], що більшість методів і способів оцінки зчипних якостей покриття розраховано на споживчі властивості автомобільної дороги виходячи з умови прямолінійного руху автомобілів. Такий підхід склався історично, коли

кількість автомобілів була меншою та їхні технічні можливості були обмеженими. Тому, на сьогоднішній день існує необхідність безпечного виконання маневрів з оптимальною швидкістю їх виконання, виходячи з реальних умов.

Для оцінки сили зчеплення колеса із сухим покриттям, існує формула (1.4) розроблена Петровим І.П. [34, 35], яка є найбільш відомою і вважається основною чи базовою при визначенні зчіпних якостей. В цій формулі величина зчеплення визначається в залежності від площі контакту колеса з поверхнею покриття:

$$T = \varphi^* A, \quad (1.4)$$

де A – площа фактичного контакту;

φ^* - стала величина.

$$\varphi^* = \eta_p \left(161060 - 2 \left(273 + t_c - 5\sqrt{v} \lg \frac{10^{13}}{v} \right) \right) \quad (1.5)$$

t_c – температура навколишнього середовища;

v – швидкість ковзання;

η_p – емпіричний коефіцієнт, який залежить від складу гуми і визначається в лабораторних умовах шляхом вимірювання сили тертя зразка гуми з шорсткою поверхнею і послідуєчих розрахунків з урахуванням t_c, v, A .

Недоліком цього способу є те, що введення емпіричних поправок не дає можливості перевірити теоретичні викладки, до того ж обмежене його практичне використання.

Пізніше Петровим І.П. було отримано формулу для визначення коефіцієнта зчеплення колеса з сухим твердим покриттям, φ :

$$\varphi = 2,14(r_n i_n)^{2/3} \xi \frac{E_a - R_k(T_0 + c\sqrt{v}) \lg \frac{v_0}{v}}{E^{2/3} q_{cp}^{2.3}}, \quad (1.6)$$

де r_n – радіус заокруглення вершин нерівностей;

i_n – щільність нерівностей;

E_a – енергія активації молекул гуми;

q_{cp} – середній тиск в зоні контакту на виступах;

R_k – стала Клапейрона;

T_0 – температура навколишнього середовища;

c, v_0 – сталі Шалламаха;

ξ – емпіричний коефіцієнт.

Галузь застосування даної формули також обмежена необхідністю визначення емпіричних коефіцієнтів. Але з часом було представлено залежність для визначення площі контакту колеса із дорожнім покриттям, з використанням молекулярно-механічної теорії тертя [37], в якій враховуються характеристики автомобільного колеса:

$$A_c = k' B_{\Pi} l \quad (1.7)$$

де k' – коефіцієнт насиченості малюнку протектора;

B_{Π} – ширина протектора;

l – довжина зони контакту.

Величина l знаходиться із геометричних міркувань при умові, що проекція бігової доріжки шини за межами зони контакту на поздовжню площину колеса не відрізняється від кола:

$$l = 2\sqrt{2r_0 h}, \quad (1.8)$$

де r_0 – радіус не навантаженого колеса;

h – прогин шин, який визначається із квадратного рівняння:

$$h^2 - \alpha_2 \frac{hG_k}{p_w + p_o} - \alpha_1 G_k = 0 \quad (1.9)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{r_o r_n}} \quad (1.10)$$

де r_n – радіус бігової доріжки протектора;

G_k – навантаження на колесо;

p_w – внутрішній тиск повітря в шині;

p_o – характеристика жорсткості покриття;

α_1 – стала величина, що визначається з нерівності:

$$(\pi\sqrt{2r_o r_n})^{-1} \leq \alpha_2 \leq 1,4(\pi\sqrt{2r_o r_n})^{-1} \quad (1.11)$$

Величини α_1 , α_2 і p_o для різних типів шин визначають за дослідними даними. При визначенні сили зчеплення, T [36] контакт вважається насиченим, за Крагельським І. В. використовується вираз:

$$T = \frac{0,125\alpha_{\text{эф}}A_c b \varepsilon_{\text{кр}}^{v-1} E h_{\text{max}}}{\pi R v (1-\mu^2)} [v\varepsilon - (v-1)\varepsilon_{\text{кр}}]^2 + \tau_o + \frac{0,42\beta E h_{\text{max}}}{R^{1/2} v^{1/2} (1-\mu^2)} [v\varepsilon - (v-1)\varepsilon_{\text{кр}}]^{\frac{1}{2}} \times \frac{A_c}{2v} [v\varepsilon - (v-1)\varepsilon_{\text{кр}}] \quad (1.12)$$

У загальному випадку процес взаємодії колеса з дорожнім покриттям обумовлюється наявністю двох незалежних складових – сили молекулярної взаємодії між поверхнями та сили механічного опору, яка пов'язана з деформацією їх поверхневих шарів. Процеси молекулярної взаємодії охоплюють поверхневі шари гуми протектора та поверхні дороги на соті долі мікрометра, а процеси механічної взаємодії виникають в самому тілі протектора та в шарах товщиною в десять долі мікрометра, внаслідок

вдавлювання виступів шорсткості в тіло гуми. Експерименти показують [36], що молекулярна взаємодія та деформування верхніх шарів контактуючих тіл є двома основними напрямками втрати енергії під час руху колеса по поверхні дорожнього покриття. Це знаходить своє відображення в структурі формул для визначення коефіцієнту зчеплення [37].

Для визначення коефіцієнту зчеплення Крагельським І. В. [36] було запропоновано формулу, що враховує молекулярну та деформаційну складові:

$$\varphi = \frac{2,1\tau\theta^{4/5}}{p_c^{1/5}\Delta^{2/5}} + \beta + 0,23a_r p_c^{1/5} \Delta^{2/5} \theta^{4/5}, \quad (1.13)$$

де τ – сила опору зсуву;

θ – пружна стала матеріалу;

Δ – параметр шорсткості;

β – п'єзокоефіцієнт молекулярної складової тертя;

a_r – коефіцієнт гістерезисних витрат.

Формули (1.12) та (1.13) мають дві складових: ліва частина виражає деформаційну складову сили зчеплення, права – молекулярну.

Розглядаючи процес занурення у воду елемента протектора шини Левін Ю. С. [37] вивів формулу для визначення коефіцієнта зчеплення для мокрого покриття:

$$\varphi_M = \left[1 - \frac{Vt\sigma\mu}{lq(1-\varepsilon)} \left(\frac{1}{h_H^2} - \frac{1}{h_0^2} \right) \right], \quad (1.14)$$

де V – швидкість руху колеса;

l – довжина зони контакту;

ε – коефіцієнт овальності контакту, що враховує відхилення його форми від прямокутника.

Як видно з формули Левін Ю. С. використав параметр h – різницю між середньою висотою виступів шорсткості дорожнього покриття та глибиною

деформації ними гуми протектора, яка залежить від висоти їх виступів, форми та інших факторів. Область використання виразу (1.14) обмежується тим, що при виведенні φ_m використовуються експериментальні значення коефіцієнта зчеплення колеса з сухим покриттям.

Ларін О. Н. [10] на основі молекулярно-механічної теорії одержав вираз для визначення коефіцієнта зчеплення шини з покриттям:

$$\varphi = \frac{3,9BC_0K_H}{E^{0,86}G} \int_b^a (\tau_c q_Z^{0,86} + \left[\beta + \alpha \frac{h^{1/2}}{R_H^{1/2}} q_Z^{1,86} \right]) d\xi, \quad (1.15)$$

де B – ширина зони контакту;

C_0 – коефіцієнт, що враховує відхилення форми контакту від прямокутника;

G – навантаження на колесо;

E – модуль пружності гуми протектора;

τ_c – опір зсуву адгезійного зв'язку;

β – п'єзокоефіцієнт молекулярного тертя;

α – коефіцієнт гістерезисних витрат;

h – заглиблення шини;

R_H – радіус заокруглень виступів шорсткості;

ξ – змінна інтегрування.

При виведенні формули (1.15) приймали допущення, витискування води попереду колеса і наявності між ним та покриттям сухого контакту. Таке твердження можна прийняти лише для малих швидкостей руху, коли гідропідйомна сила води майже не впливає на режим руху. В якості вихідного параметру, який характеризує структуру поверхні покриття Ларін О. Н. використовує радіус заокруглень виступів шорсткості R_H [38].

Під час контакту протектору з гладкою поверхнею деформаційну складова коефіцієнта зчеплення менше майже в два рази за молекулярну, під час контакту з шорсткими поверхнями – співвідношення стає зворотнім, та

його величина залежить від геометричних характеристик нерівностей покриття [38].

Таким чином, погіршення зчїпних якостей зволоженого виникає через зміну характеру взаємодії гуми та поверхні проїзної частини. При сухому покритті сила зчеплення виникає через адгезією. При вологому покритті сила зчеплення різко знижується. Плівка води, що знаходиться на поверхні покриття, змішана з викидами та мастилом, тому взаємодія між протектором колеса та покриттям відбувається за рахунок механічної взаємодії.

Через те що галузь використання вищезгаданих формул обмежена необхідністю визначення емпіричних коефіцієнтів, їх використання стає складним і незручними під час проведення розрахунків, до того ж знижується точність результатів обчислень. Більшість з цих математичних моделей розроблено для умов сухого дорожнього покриття, проте найбільш небезпечним є саме мокре, брудне дорожнє покриття, тому актуальною є розробка математичної моделі з врахуванням різних станів дорожнього покриття.

1.4. Методи підвищення зчїпних властивостей покриттів автомобільних доріг

В світовій практиці підвищення шорсткості покриттів здійснюють механічними засобами, улаштуванням поверхневих обробок та будівництвом тонкошарових покриттів. Технологія робіт вимагає чіткої послідовності операцій від підготовчих робіт до робіт із догляду проїзної частини.

Із сучасних іноземних технологій улаштування шорстких поверхонь автомобільних доріг можна відзначити влаштування спеціальних рівновіддалених поперечних канав на цементобетонних покриттях отриманих у результаті фрезерування. Такі заходи застосовують на спусках, підйомах, перед зупинками та перехрестями для забезпечення необхідного коефіцієнту зчеплення, а також для утворення спеціального звукового фону,

для привернення уваги водія до необхідності зниження швидкості автомобіля (рис. 1.3). Наприклад, фірмою «Noritate» (Японія) запропоновано засіб механічної обробки цементобетонних покриттів за допомоги алмазних дискових пил, що забезпечують утворення шорсткої поверхні в широкому діапазоні параметрів.

Для активації адгезійних якостей покриттів на етапі підготовчих робіт і для відновлення зчепних якостей покриттів в процесі експлуатації використовуються механічні та фізико-механічні засоби їх обробки.

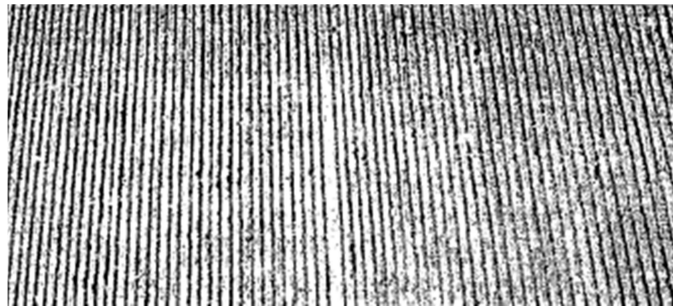


Рис. 1.3. Шорстка поверхнева обробка цементобетонного покриття

Французькою фірмою «Gailledrat Pure et Fils» розроблено технологію відновлення цементобетонних покриттів із використанням дробоструменевої обробки. Ця технологія полягає в обробці поверхні покриття сталевими кульками діаметром 1,0 – 1,4 мм. Від їх ударів на розм'якшених ділянках покриття утворюються виїмки та на поверхню виділяються заповнювачі, утворюючи макрошорсткість. В залежності від швидкості розподілення кульок та швидкості руху дорожньої машини можна отримати макрошорсткі та мікрошорсткі покриття. Рух транспортних засобів відновлюється відразу по закінченню робіт. Також для відновлення шорсткості дорожніх покриттів використовується метод *Ruqor*, заснований на розбризкуванні води під високим тиском (800 – 900 бар). Після проходження дорожньої машини зі швидкістю 5 – 15 м/хв по ширині обробленої смуги коефіцієнт зчеплення збільшується на 0,25, а висота виступів – на 1 мм.

Британська технологія підвищення шорсткості дорожніх покриттів «*Addagrip 1000*» полягає в обробці покриття струменем гарячого повітря,

нагрітого до 1000°C , зі швидкістю 305 м/с. При цьому із покриття повністю випаровується волога, вигорають органічні домішки та видуються тонкодисперсні частки з пор матеріалу, в результаті чого покриття набуває підвищених адгезійних та зчіпних якостей.

Австрійськими вченими запропоновано спосіб удосконалення поверхневої обробки, при якому на поверхню наносяться заглиблення механічними засобами. Утворюються хвилеподібні та пилоподібні дрібні нерівності за допомоги сталевих щіток та струменів води під високим тиском.

Також відомим є спосіб виготовлення шорсткого дорожнього покриття шляхом нанесення суміші порошку полівінілбутирала із кварцовим піском шаром товщиною 6 – 10 мм із наступним розігрівом суміші до температури $250 - 300^{\circ}\text{C}$ [45]. Автори патенту вказують на те, що полівінілбутираль, плавлячись, вкриває зерна піску рівномірним шаром, який має гарну адгезію до цементобетонного покриття. По завершенню процесу полімеризації зерна піску, втоплені в скловидну плівку, утворюють міцний шорсткий шар на поверхні покриття, що має хороші зчіпні якості. Однак таке покриття характеризується підвищеною суцільністю та водонепроникністю, що призводить до накопичення вологи на поверхні покриття, а це призводить до підвищення слизькості та зниження безпеки руху у зимовий період.

Одним із широковідомих методів улаштування дорожніх покриттів із шорсткою поверхнею є укладання тонкошарових покриттів. Для цього використовуються холодні емульсійні суміші поверхневих шарів, що наносяться холодним способом із застосуванням бітумних емульсій та гарячим способом із застосуванням бітумів.

Практичний інтерес представляє технологія виготовлення шорсткого цементобетонного покриття запропонована російськими вченими Тимочкіною Л. Ю., Бікбау У. М. та Бікбау М. Я. [46]. В основі цього методу лежить виготовлення шорсткого дорожнього покриття з цементобетону шляхом змішування крупного та дрібного заповнювачів із розчином

в'язучого та омонолічування нанесенням на поверхню двох шарів. Верхній – шар зносу, виготовляється з дрібного бетону товщиною 5 – 20 мм, із нанесенням рівномірно розподіленого по поверхні, на всю товщину перфорацій, у вигляді перевернутих усічених конусів або багатогранних пірамід. Нижній шар виготовляється з дренуючого цементобетону шляхом сумісної обробки розчину цементного в'язучого, з щільним заповнювачем у вигляді щебню фракцій 2 – 10 мм, дрібного заповнювача в вигляді дисперсного матеріалу, наприклад кварцового піску. Суть технічного рішення полягає в поєднанні міцного шару зносу з перфорацією з нижнім шаром покриття у вигляді крупнопористого дренуючого цементобетону, що відрізняється високою шорсткістю та водопроникністю. Верхній шар виготовляють звичайним змішуванням у розчинозмішувачах дрібнозернистого бетону, яким покривають нижній шар покриття з дренуючого бетону. Після початку схоплення по поверхні на всю товщину рівномірно розподіляються перфорації (рис. 1.10).

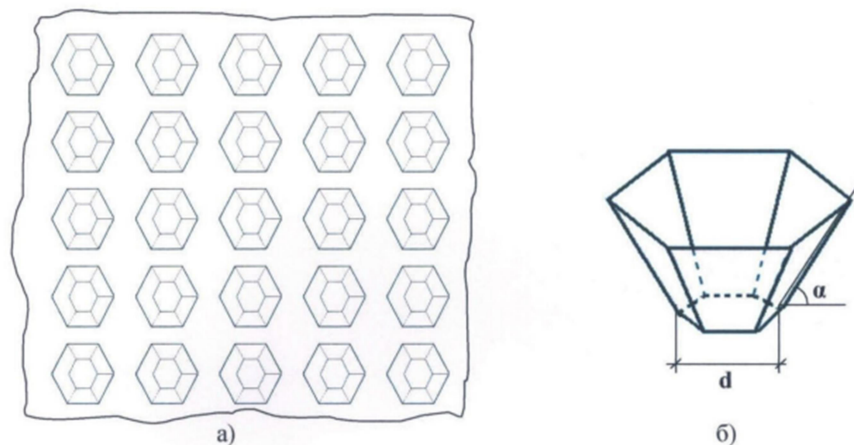


Рис. 1.4. Приклад перфорованої поверхні шару зносу в вигляді перевернутих усічених конусів: а) загальний вигляд; б) конічна ямка з утворенням меншого діаметру основи конусу, d та кута нахилу бокового ребра конусу до вертикальної вісі, α

Виготовлення верхнього шару покриття – шару зносу – з щільного цементобетону із нанесенням на його поверхню наскрізної перфорації на

всю товщину цього шару зберігає дренажні властивості покриття, забезпечує підвищену водопроникність і стійку шорсткість покриття. Таке покриття дозволяє отримати підвищення коефіцієнту зчеплення та водопроникності, виключає аквапланування та позитивно впливає на безпеку руху, особливо на підйомах, спусках та поворотах автомагістралей.

В першу чергу було розроблено велику кількість методів підвищення шорсткості механічними засобами. Однак слід зазначити, що в сучасній практиці механічні засоби обробки покриття відходять на другий план через надмірне дефектоутворення на поверхні покриттів. Великої популярності набувають способи поверхневої обробки покриттів, які забезпечують необхідні транспортно-експлуатаційні властивості покриттів, зокрема шорсткість, а також дозволяють збільшити строк служби автомобільної дороги. Питання підвищення зчіпних якостей покриття ніколи не втратить своєї актуальності, тому що забезпечення безпеки та комфорту руху для водіїв транспортних засобів є одним із пріоритетних у дорожньо-будівельній галузі.

Для руху сучасних вантажних автопоїздів та швидкісних легкових дорожнє полотно нинішніх доріг малопридатне.

Тому проведення робіт з ремонтів і особливо з реконструкції автомобільних доріг з використанням сучасних технологій і матеріалів буде сприяти покращанню умов руху, підвищенню транспортно-експлуатаційних показників та комфортності руху на автомобільних дорогах, який значною мірою обумовлюється якістю будівництва дороги та якістю здійснення попередніх ремонтів.

В європейських країнах у зв'язку зі значним збільшенням інтенсивності руху і навантаженням на вісь автомобіля значно знизився термін служби доріг з нежорстким типом покриття і більша половина доріг потребує ремонту, відновлення та реконструкції.

В даний час доводиться зіштовхуватися з проблемою – матеріал дорожнього покриття виходить з ладу через невеликий термін експлуатації

[46]. На стадії проекту важливо правильно вибрати тип і марку бетону, вид в'язучого, врахувати існуючий досвід. Головним моментом є облік реальних властивостей конструкційних матеріалів при проектуванні дорожнього одягу. Все це необхідно компенсувати застосуванням нових технологій.

Так в 1997 році на семінарі "Asphalt'97" в Соліхалі [47], Великобританія, були проведені підсумки трирічної програми дослідницьких робіт щодо покращення стану доріг. Було визначено, що:

- асфальтобетонне покриття має тривалий строк служби при міцній основі,
- тріщини втоми мало ймовірні при товщині покриття, більше 20 см,
- термін служби асфальтобетонного покриття повинен розраховуватись на 40 років при відновлювальному ремонті через 20 років,
- товщина асфальтобетонного покриття більше 20 см достатня та забезпечує довговічність дороги; товщина менше 20 см не рекомендується навіть для мало навантажених доріг,
- поверхневі шари типу Сларрі Сіл, Мультимак, Masterpave знижують рівень шуму на 20%.

Матеріали досліджень проведених в Німеччині [48] по аспектам технології будівництва, ремонту та реконструкції дорожніх конструкцій з асфальтобетонними покриттями показали, що найбільш використовуються конструкції з вирівнюючим шаром 10 см гранулометрії 0 – 22 мм і верхнім шаром 4 см з суміші 0 – 11 мм. Але така конструкція може бути недостатньо стійкою до утворення колійності, внаслідок недостатньої щільності верхнього шару. Проведеними лабораторними дослідженнями та випробуваннями на трьох дослідних ділянках державних доріг в Німеччині перевірені можливості обмеження верхнього шару товщиною порядку 2 см. Було встановлено, що в цьому випадку при збільшенні ущільнення приблизно на 3%, суттєво підвищується стійкість покриття до осьових навантажень в 13 т та високої інтенсивності руху.

Необхідно відмітити, що в Німеччині особливо на автомагістралях Баварії [49] під складними умовами навантаження досить широко використовується щебенево-мастиковий асфальтобетон ще з кінця 90-х років. Чітко відмічаються такі його переваги як: висока морозостійкість, достатнє зчеплення, понижений дорожній шум та ін. Крім цього виявлена ефективність застосування щебенево-мастиковий асфальтобетон для ремонту та підсилення цементобетонних покриттів, яким додаються необхідна рівність і шорсткість.

Практичним роботам по улаштуванню шарів підсилення в Німеччині передували широкомасштабні дослідження з оцінки довговічності асфальтобетонних шарів посилення [50].

Методика досліджень включала вивчення причин утворення тріщин, у тому числі температурних, дослідження впливу розтягуючих навантажень на дорожні й аеродромні покриття і прояв відповідних явищ втомленості у шарах посилення. В результаті були зроблені висновки щодо оптимальності товщини шарів посилення, зчеплення зі старим покриттям, дані рекомендації про склади асфальтобетонних сумішей, зокрема, про кількість і тип використовуваних бітумів. Виявлено, що підвищена пористість сумішей знижує стійкість асфальтобетонних шарів до низьких температур, прискорює наростання явищ втомленості.

У Швейцарії з початку 90-х років почали застосовуватись високоміцні асфальтобетонні покриття. Швейцарською лабораторією LAVOS були проведено багато випробувань високомодульних покриттів високоміцних асфальтобетонних покриттів на бетонній основі.

В результаті цих досліджень на національних дорогах Швейцарії загальною довжиною 1650 км асфальтобетонні покриття складають 86% усієї довжини, бетонні покриття – 9%, асфальтобетон поверх бетону – 5% [51]. З 2001 р. було широко впроваджене укладання асфальтових шарів на бетонні покриття. Таким чином заміна і підсилення бетонних дорожніх покриттів за допомогою асфальтобетону у Швейцарії набуло широкого розповсюдження.

Результати обстежень магістральних і кантональних доріг у Швейцарії показали необхідність проведення значних ремонтно-підсилювальних робіт на бетонних покриттях [52]. Результати обстежень 33 дослідних ділянок доріг показали, що при правильному виборі способів підсилення можна збільшити міжремонтні терміни бетонних доріг на 20–25% [53]. Крім цього, у Швейцарії [54] та Німеччині [55] розроблялися цілі системи контролювання за ущільненням асфальтобетонних покриттів на дорогах, які підвищують якість та довговічність дорожніх покриттів

На платних дорогах Італії [56] застосовуються нові конструктивні рішення улаштування асфальтобетонних покриттів і технології з використанням сучасних матеріалів. За останні 20 років ріст числа важких вантажних автомобілів з тиском на вісь 12 т склав 375%, що негативно відбилося на витратах по ремонті і реконструкції доріг. Останні 10 років використовуються асфальтобетонні покриття із шарами 3 см + 4 см + 15 см і шаром щебню 25 см. У напівжорстких асфальтобетонних покриттів, розрахованих на 18 – 20 млн. проходів автомобілів з навантаженням на вісь 12 т шари асфальтобетону 3 см+4 см+15 см покладені на шар гранульованої суміші 20 см. У 1988 р. було створено композитне покриття, розраховане на 35–40 млн. циклів осьового навантаження 12 т. До його складу входять шар зносу – 4 см, бетонна плита, товщиною 30 см з безупинно розташованою центральною арматурою, шар щебню, стабілізований цементом і гранульованою сумішшю – 20 см. Особливістю цієї конструкції є наявність у несучому шарі порожнеч, які поглинають шум транспорту, що рухається. Крім цього широке розповсюдження мають геосинтетичні матеріали.

В Австрії в основному використовують асфальтобетонні двошарові покриття на основі з щебню, укріпленого органічними та мінеральними в'язучими та бетонній основі.

З 90-х років почалось розповсюдження щебенево-мастикового асфальтобетону. Для виявлення результатів експлуатації таких покриттів на дорогах з високою інтенсивністю руху проводились перевірки

експлуатаційних показників [57] таких як: рівність поверхні, шорсткість і зчеплення, наявність дефектних місць та ін. Задовільний загальний стан покриттів визначає можливість розширення використання щебенево-мастикового асфальтобетону, для чого розроблені рекомендації по технології застосування.

Дослідження по програмі SHRP визначили в США новий тип дорожніх покриттів *Suprgrave* – Суперпокриття (Сп) [58], яке може забезпечити при рості інтенсивності руху і осьового навантаження необхідні експлуатаційні якості дорожніх покриттів. Це обумовило масове будівництво дослідних ділянок по дорогам штатів. Суміш включає тільки дроблені кам'яні матеріали.

Серед усіх вищезгаданих методів підвищення шорсткості покриттів найбільш досконалим є спосіб улаштування шарів підсилення, які не тільки забезпечують необхідну шорсткість покриття, вони забезпечують усунення тріщин, колій, відновлення рівності покриття, зменшення шуму і таке інше.

У напівжорстких дорожніх покриттях існує спосіб комбінування асфальтобетону і цементобетонного розчину з метою об'єднання переваг обох матеріалів [50]. Завдяки ефекту, обумовленому в'язкістю, пластичністю асфальтобетону і твердістю цементу, забезпечується можливість влаштування монолітних, більш міцних і довговічних покриттів, що виявляються також економічними.

Уперше технологія влаштування напівжорсткого дорожнього покриття (пористий асфальтобетонний каркас, заповнений традиційним цементним розчином) за допомогою вібрації була застосована в Німеччині в 70-і роки. Однак технологічні властивості отриманого матеріалу після укладання не завжди відповідали стандартним вимогам. Біля двох десятиліть технологія залишалася в “тіні”.

Фірмою *Densit a/s* (Данія), розроблено модифікований пластифікований цементний розчин. Напівжорстка система *Денсифальт* використовує пористу

асфальтобетонна суміш. Компонентами цього розчину є цемент, суперпластифікатор, мікрокремнезем і різні добавки.

Для забезпечення повного заповнення пор асфальтобетонного каркасу необхідне використання високосортного щебню визначеного гранулометричного складу. Не рекомендується вміст великої кількості зерен дрібніше заданого розміру, а також не допускається високий зміст фракцій щебню, у яких співвідношення між довжиною і товщиною складає більш ніж 3:1.

Такими країнами, як Франція, Німеччина, Іспанія, Італія, Японія, запропонована конструкція твердого дорожнього одягу, що включає цементобетонне покриття із шаром зносу з бітумного матеріалу [57]. Запропонована конструкція дорожнього одягу призначена для важкого інтенсивного руху на магістральних автомобільних дорогах, що з'єднують великі міста, промислові центри, аеропорти, на підходах до великих міст і т.д. Конструкція являє собою комбінацію цементо- і асфальтобетонного матеріалу, де шар з бітумного матеріалу грає тільки конструктивну роль. Цементобетон додає конструкції міцність, конструктивну надійність, довговічність, він виконує роль фундаменту. Цементобетон може бути різного виду: безперервно армований, звичайний зі штирьовими з'єднаннями і без них, армований.

Шар зносу може бути виконаний із щільної чи пористої асфальтобетонної суміші. Асфальтобетонний шар зносу забезпечує комфорт для користувача дороги, крім того, володіє не поганими зчіпними якостями. Спільне застосування таких різних матеріалів, як цементо- і асфальтобетон, дає можливість використовувати їхні найкращі якості і властивості для створення довговічного і комфортного покриття автомобільних доріг. Особлива увага приділяється поверхні розділу цих двох шарів.

Федеральним дорожнім відомством Швейцарії, проводився експеримент по розробці способу посилення бетонного покриття армованим асфальтобетоном [60]. На чотирьох-смуговій ділянці автомагістралі А6

довжиною 2351 м, зданому в експлуатацію в 1971 р., для ремонту бетонних плит старого дорожнього покриття пропонувалося три варіанти посилення. Як верхній шар нового покриття використовувалася щебенево-мастикова асфальтобетонна суміш і традиційна асфальтобетонна суміш.

1-й варіант: шар зі щебенево-мастикового асфальтобетону (40 мм); асфальтобетон, армований скловолокном; мембрана, що знижує напругу, що укладається на шар, що вирівнює; підгрунтовка.

2-й варіант: шар зі щебенево-мастикового асфальтобетону чи асфальтобетону (40–50 мм); тонкий асфальтобетонний шар на основі бітумної емульсії; матеріал Vitufor (геотекстиль, армований сталеву сіткою).

3-й варіант: асфальтобетон; мембрана; щебінь, оброблений бітумом.

Порівняння варіантів проходило по 17 критеріях: технологічні проблеми; необхідні підготовчі роботи, у тому числі відновлення деформаційних швів; залежність від погодних умов; текстура покриття, його рівність; час укладання; можливість регенерації й ін.

Улітку 2001 р. у шт. Арканзас завершилися ремонтні роботи на міжштатних автомагістралях 1–30 і 1–40 [60]. При ремонті на бетонні плити, що зруйнувалися, укладали асфальтобетонне покриття загальною товщиною 28–30,5 см. У процесі ремонту передбачалось також улаштування узбіч шириною 3 м з укладанням асфальтобетонного шару товщиною 13 см.

Автомобільна дорога М1/ЕЗО Брест – Мінськ – границя Росії на ділянці від аеропорту Мінськ–2 до м. Івацевичи останній раз була реконструйована в 1978–1982 р. по параметрах I категорії [60]. За період після реконструкції (16 – 20 років) на цементобетонному покритті з'явилися і почали прогресувати руйнування у виді вибоїн, лушення і викришування верхнього шару бетону, тріщин плит і сколів країв деформаційних швів. Необхідно було проводити ремонтні роботи по відновленню цементобетонного покриття. У ході цих робіт був внесений ряд змін і доповнень у проект, пов'язаних зі змінами технічних рішень і з більш повним

врахуванням природно-кліматичних умов при виборі матеріалів і технологій. Важливе місце в цих роботах займають спостереження за станом відремонтованих ділянок дороги, аналіз причин виникнення окремих дефектів, розробка пропозицій по їх усуненню. На всій протяжності ділянки ремонту дороги проводився суцільний ремонт та герметизації швів. Ремонт руйнувань цементобетонного покриття (відколи кутів і країв плит, вибоїни, руйнування країв плит уздовж швів і тріщин) робили як імпортованими швидкотвердіючими матеріалами на цементній основі (типу "ЭМАКО"), так і литою асфальтобетонною сумішшю.

При реконструкції ділянки автомагістралі (А-40) в Канаді [61] для виключення можливості виникнення відображених тріщин існуюче цементобетонне покриття було подрібнене і укладене в основу дорожньої конструкції. Також по всій ділянці було проведено укладання дренажів. У верхньому шарі дорожньої конструкції використовувався асфальтобетон на модифікованому бітумі.

В Німеччині [61] в результаті проведення обстеження доріг, які мають асфальтобетонне покриття і основу з матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими матеріалами встановлено, що експлуатаційні характеристики більшості таких покриттів незадовільні. В наявності значна кількість тріщин, колійність і це при незначному строку служби, але при невеликій товщині верхнього шару покриття.

Дослідження проведені англійськими вченими [61] показали, що після 8 років експлуатації 2,5% протяжності доріг з такими конструкціями необхідно ремонтувати. На ділянках виявлена невелика кількість дрібних тріщин і колій глибиною до 8 мм. Але необхідно відмітити, що на обстежених дорогах був укладений шар асфальтобетону товщиною 175 мм на шар пісного бетону такої ж товщини.

У Франції [62] обстежено більше 150 тис. км доріг, в основі яких використовувались матеріали, укріплені неорганічними в'язучими. В

результаті обстежень встановлено, що середній строк служби до ремонту складає 7-8 років.

Таким чином [63], улаштування шарів зносу несе комплексний зміст для підтримання експлуатаційних властивостей автомобільної дороги, зокрема підвищення шорсткості покриття.

Найчастіше функції захисних шарів, шарів зносу та шорсткості поєднуються шляхом підбору оптимального гранулометричного складу, вимог до міцності, зносостійкості, морозостійкості та іншим властивостям кам'яних матеріалів, вимог до виду в'язучого, його властивостей, норм витрат, введення різноманітних домішок, а також обрання технологій робіт. Ці шари об'єднують загальні способи виконання робіт: поверхнева обробка, втеплювання щебеню та укладання шару суміші, пасти або мастики.

Багаторічні експерименти з улаштування шорстких шарів показали, що необхідним є забезпечення міцності, шорсткості, зчеплення з існуючим покриттям, збільшення міжремонтних строків, а також відсутністю колієутворення. Враховуючи всі вищезгадані параметри необхідна розробка суміші оптимального складу, що задовольнила б усім параметрам.

Детальний огляд методів підвищення шорсткості показав наявність різноманітних недоліків в цих методах, (наприклад механічні засоби підвищення шорсткості викликають передчасне руйнування дорожнього одягу, а поверхневі обробки, типу Сларі Сіл і таке інше, що набули популярності за кордоном, є дуже дорогими). Тому необхідна розробка такої технології підвищення шорсткості, що задовольняла б потребам безпечного та комфортного руху транспортних засобів і економічної ефективності.

1.5. Висновки за розділом

1. Розроблення досконалої методики оцінювання зчіпних якостей автомобільної дороги дозволяє оптимізувати процес оцінки транспортно-експлуатаційних показників автомобільної дороги, виявити причини низьких зчіпних якостей, що в свою чергу дозволить знайти відповідний засіб для підвищення цих показників, зокрема, шорсткості покриття. Покращення зчіпних якостей дорожніх покриттів розглядається як один з найефективніших заходів щодо запобігання ДТП або зменшення ймовірності їх виникнення.

2. Зчіпні якості покриття автомобільної дороги в значній мірі залежать від кам'яного матеріалу покриття. Від його розташування стосовно вісі руху транспортного засобу, характеру його розподілу по поверхні і, звісно, геометричних характеристик – розміру та форми.

3. Під дією механічних факторів відбувається шліфування зерен кам'яного матеріалу, в результаті чого зчеплення колеса з покриттям зменшується. Під дією погодно-кліматичних факторів в кам'яному матеріалі утворюються мікротріщини, які поступово збільшуються, руйнуючи поверхневий шар і зменшуючи шорсткість покриття.

4. Детальний огляд методів підвищення шорсткості показав наявність різноманітних недоліків в цих методах, (наприклад механічні засоби підвищення шорсткості викликають передчасне руйнування дорожнього одягу, а поверхневі обробки, типу Сларі Сіл і таке інше, що набули популярності за кордоном, є дуже дорогими). Тому необхідна розробка такої технології підвищення шорсткості, що задовольняла б потребам безпечного та комфортного руху транспортних засобів і економічної ефективності.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ З ГУМОЮ ПРОТЕКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ

2.1. Процес взаємодії колеса з поверхнею проїзної частини

В теорії вивчення фрикційної пари «колеса-опорна поверхня» зазвичай приймають деякі допущення. Основа, по якій перекатується колесо вважається абсолютно жорсткою, а форму плями контакту приймають близькою до прямокутної.

Більшість існуючих досліджень розглядає деформування всіх елементів шин (розрахунок на базі монотропної оболонки, сітчастої оболонки, комбінації оболонок, моделі Бідермана, розрахунок на основі трьохмірної моделі методом скінченних елементів і т. д.). Такі методи є раціональними та підходять для питань проектування шин, але не в питанні зчеплення колеса із поверхнею проїзної частини, а саме плями контакту. У формуванні реакції плями контакту на дію вертикального навантаження найбільшу роль відіграє протектор, деформація його елементів і сили тертя в контакті з дорогою.

Шина представляє собою циліндричне тіло, яке торкається до жорсткої поверхні. Для того, щоб зрозуміти процеси, що протікають у зоні контакту звернемось до задачі Герца, де розглядається два твердих тіла, що торкаються одне до іншого. В даній задачі було обрано наступні припущення: тіла заповнено однорідними ізотропними лінійно-упругими середовищами з модулями Юнга та коефіцієнтами Пуассона, кривизна поверхонь не впливає на напружено деформований стан, граничні поверхні замінюють еліптичними параболоїдами, область контакту однозв'язна та її межею є еліпс.

Стан шини можливий у трьох виглядах – із заниженим тиском, нормальним та підвищеним (рис. 2.1).

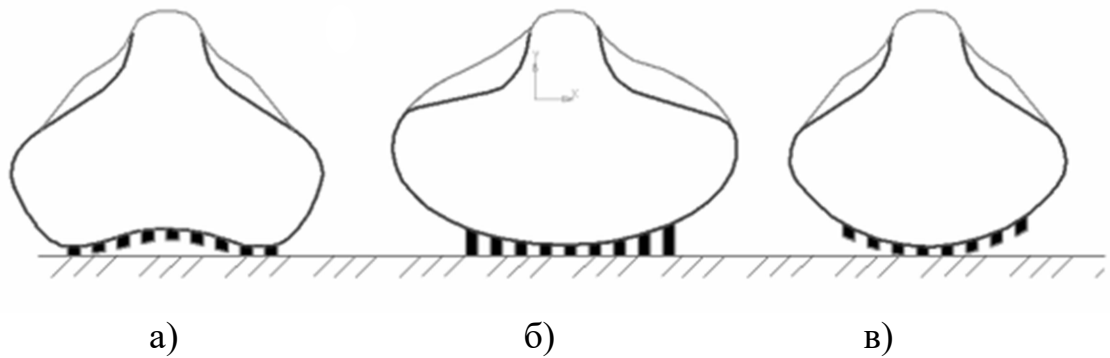


Рис. 2.1. Можливі стани шини: а) занижений тиск у шині; б) нормальний тиск у шині; в) перевищений тиск у шині.

Моделювання процесів зміни в часу техніко-економічних показників автомобільної дороги зазвичай проводять на основі аналізу фізичних процесів, що відбуваються в шарах дорожнього одягу, а особливо на покритті в період експлуатації. Величина коефіцієнта зчеплення змінюється в період експлуатації дороги, при тривалому часовому інтервалі під дією погодно-кліматичних, дорожніх і транспортних факторів.

Поверхня дорожнього покриття завжди має нерівності різної форми і розміру: від зовсім малих, невидимих і невідчутних при русі транспортного засобу до великих, після перетину яких автомобіль зазнає поштовхи і коливання на підвісці. До нерівностей поверхні також необхідно вказати і шорсткість.

Шорсткість поверхні (в теорії тертя – текстура) дорожнього покриття являє собою сукупність нерівностей, що не викликають низькочастотні коливання автомобіля на підвісці і не впливають на роботу його двигуна. Шорсткість поділяють на дві групи: макро- і мікрошорсткість. До макрошорсткості відносять нерівності довжиною більше 2 мм і висотою більше 0,2 мм, які зазвичай формуються частками (зернами) щебню, використаного при будівництві покриттів дороги або в результаті спеціальної його обробки. До мікрошорсткості відносять менші нерівності, як правило, викликані власної шорсткістю поверхні зерен щебню (рис. 2.2). Різні кам'яні матеріали мають різну мікрошорсткість, тому для влаштування верхніх шарів

покриття краще підходять кам'яні матеріали, що мають більшу мікрошорсткість [64].

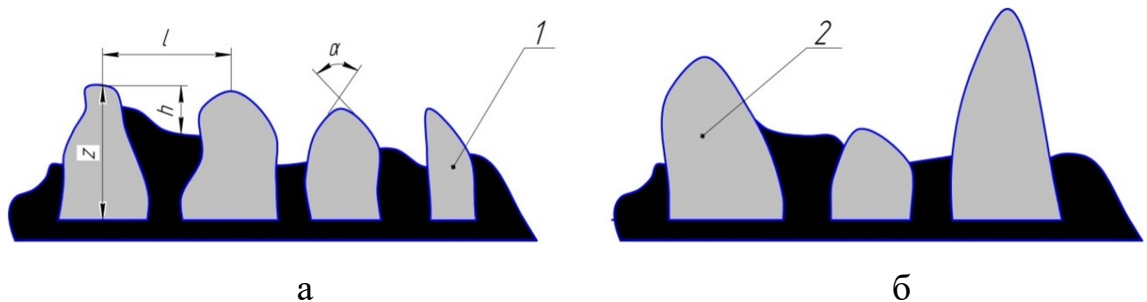


Рис. 2.2. Типи шорсткості покриття та його параметри: а - рівномірна; б - шипована; 1 – макрошорсткість; 2 – мікрошорсткість; h – висота виступів; z – глибина западин; l – крок шорсткості; α – кут при вершині.

Аналіз раніше проведених наукових досліджень показав, що характер і інтенсивність зміни мікро- і макрошорсткості залежить від наступних показників:

- механічних (тертя кочення, тертя ковзання і ударне навантаження від колеса автомобіля);
- кліматичних (зміна температури, вологість);
- властивості мінерального матеріалу, який входить до складу асфальтобетону (зернистість, пористість, ступінь вивітрювання породи);
- кількість абразиву на покритті (пил, продукти зносу покриття).

Основною причиною зменшення шорсткості (зносу) покриття є механічні показники, що залежать від інтенсивності і складу транспортного потоку. В результаті їх впливу відбувається постійне оголення і шліфування крупних мінеральних зерен асфальтобетону. Значне збільшення інтенсивності руху важких вантажних автомобілів призводить до прискорення процесу шліфування зерен щебню [65].

Макрошорсткість (шорсткість) покриття характеризують трьома основними параметрами:

- середньою висотою виступів:

$$R_z = \frac{\sum z}{n}, \quad (2.1)$$

де z – висота виступу.

- середньою глибиною впадин:

$$H_{cp} = \frac{\sum h}{n} \quad (2.2)$$

де h – глибина впадини.

- коефіцієнтом кроку шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{H_{cp}}{R_z} \quad (2.3)$$

Практично макрошорсткість приймають за всю шорсткість дорожнього покриття. А на вологих покриттях макрошорсткість відіграє найбільшу роль у забезпеченні зчпних якостей [64].

Суміжні виступи і западини покриття можуть бути приблизно одного розміру і створювати рівномірну шорстку поверхню. Однак у багатьох випадках розміри суміжних виступів і западин значно відрізняються один від одного і окремі виступи виділяються над середньою поверхнею як шипи. Таку поверхню шорсткого покриття називають шиповані. З урахуванням цього існує детальна класифікація дорожніх покриттів залежно від параметрів шорсткості. (табл. 2.1).

Шорсткість поверхні у значній мірі впливає на площу фактичного контакту шини з покриттям, цим вона відрізняється від контурної, а через це і на зчеплення колеса з покриттям.

Таблиця 2.1

Класифікація дорожніх покриттів в залежності від параметрів шорсткості поверхні

Типи шорстких покриттів	Параметри шорсткості, мм	
	Середня висота виступів	Середня глибина впадин
Гладкі	0,1...0,5	0,02...0,25
Дрібної шорсткості	0,5...3,0	0,25...2,5
Середньої шорсткості	3,0...6,0	1,0...5,0
Крупної шорсткості	6,0...9,0	2,0...7,0

Контурна площа – розраховується по крайніх виступах протектора. Ця площа залежить від типу шини, її жорсткості, внутрішнього тиску в шинах і від ступеню навантаження на колесо:

$$S = \frac{Q}{K_0 K_{\text{ж}} P_{\text{в}}} \quad (2.4)$$

де K_0 – коефіцієнт контактності, що враховує конструкцію шини;

$K_{\text{ж}}$ – коефіцієнт жорсткості шини.

Площа фактичного контакту буде зменшуватись у порівнянні з контурною, зі збільшенням числа нерівностей макрошорсткості, через які гума виступів протектора наскрізь торкається матеріалу покриття. В результаті збільшення нерівностей макрошорсткості відбувається не тільки кількісна, але і якісна зміна деформації протекторної гуми. При невеликих значеннях висоти виступів спостерігається «чисте» вдавлювання нерівностей макрошорсткості в гуму без їх впливу на каркас шини. Починаючи з деякої висоти нерівності, вдавлюючись в шину, починають впливати на її каркас. При великій висоті нерівності вони вже не вдавлюються в гуму протектора і шина перекочується по них (рис. 2.3).

При збільшенні висоти виступів шорсткості зменшується площа контакту і відбувається зменшення абсолютного значення адгезійної

складової. Одночасно збільшується гістерезисна складова внаслідок зростання втрат енергії на деформацію шини.

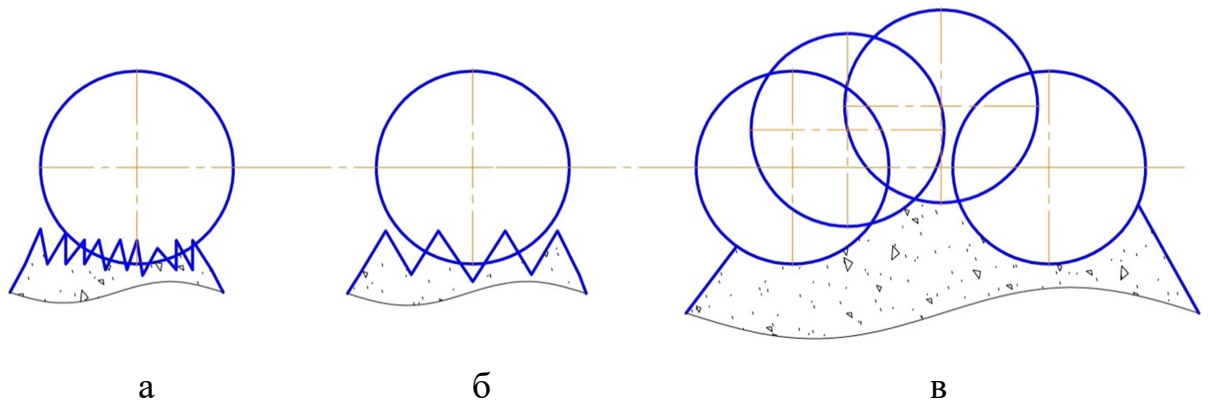


Рис. 2.3. Роль шорсткості поверхні покриттів в забезпеченні зчіпних якостей: а – покриття дрібної шорсткості; б – покриття середньої шорсткості; в – покриття крупної шорсткості.

Оскільки зниження адгезії випереджає зростання гістерезисної складової відбувається зменшення сумарної сили тертя, тобто зменшення коефіцієнта зчеплення. Однак на сухих чистих покриттях сумарна сила тертя (зчеплення) практично завжди достатня для безпечного руху автомобілів [65].

При будь-яких покриттях, виступи мінерального матеріалу, що роблять покриття шорстким при наїзді колеса втискаються в гуму протектору. При проковзуванні колеса вони пружно деформують гуму, опір якої є основною причиною опору колеса зміщенню по покриттю. Зі зносом шорсткість покриття зменшується, таким чином зменшується його зчеплення з колесом.

Впадини на поверхні покриття між виступами шорсткості при зволоженні або засміченні заповнюються брудом, пилом, продуктами зносу шин та іншим, що зменшує можливу глибину вдавлення втискання виступів у гуму. Плівка вологи, що змочує зону контакту між шиною і покриттям, діє як змазка, що розділяє гуму та покриття. Це все знижує коефіцієнт зчеплення. При високих швидкостях руху шина не встигає повністю деформуватись, тому що тривалість контакту з покриттям для

цього недостатня, таким чином нерівності покриття вдавлюються втискаються в шину на меншу глибину. В результаті зі зростанням швидкості коефіцієнт зчеплення знижується. На сухих покриттях зниження коефіцієнту зчеплення зі збільшенням швидкості менш відчутно, ніж на зволжених.

Один з найрозповсюдженіших методів вимірювання шорсткості покриття є метод «піщаної плями», який виконується згідно ДСТУ 3587 [66]. Даний метод визначає середню глибину западин шорсткості покриття автомобільної дороги.

Основний (головний) показник, який у чисельному виді може характеризувати шорсткість поверхні – це коефіцієнт поздовжнього зчеплення.

Коефіцієнтом зчеплення називають відношення реактивної сили, що діє на колесо автомобіля у площині його контакту з покриттям, до вертикального навантаження, переданого колесом на покриття. За фізичної сутності коефіцієнт зчеплення являє собою коефіцієнт тертя пари гума протектора автомобільної шини – покриття проїзної частини дороги.

Коефіцієнт зчеплення залежить від багатьох факторів:

- властивостей покриття – мікро- і макрошорсткості, якості кам'яних і в'язучих матеріалів, якості робіт з улаштування покриття, рівності покриття, однорідності властивостей покриття, температури матеріалу;
- властивостей автомобіля – системи гальм, розмірів коліс, виду і ступеня зношеності протектора, тиску повітря в шинах;
- умов взаємодії – швидкості руху, режиму руху (розгін, гальмування), температури повітря, сили вітру, наявність на покритті вологи, води, льоду, снігу [16].

Сукупність вищенаведених факторів впливає на умови взаємодії автомобіля з поверхнею дорожнього покриття, які являють собою складний процес, результатом якого є рух автомобіля. У дорожній практиці замість поняття сили зчеплення застосовують поняття коефіцієнта зчеплення:

$$\varphi = \frac{T}{Q_k}, \quad (2.5)$$

де T – сила тертя колеса із покриттям;

Q_k – навантаження на колесо автомобіля.

Реалізація сили тяги ведучим колесом залежить від значення тертя між шиною колеса і поверхнею дороги:

$$T = \varphi_T Q_k, \quad (2.6)$$

де φ_T – коефіцієнт тертя протектора шини по дорожній поверхні;

Сила тертя при гальмуванні колеса може бути визначена через площу контакту шини з покриттям:

$$T = S \varphi_T K_{ж} p_{в}, \quad (2.7)$$

де S – площа контакту колеса із покриттям;

$K_{ж}$ – коефіцієнт жорсткості шини;

$p_{в}$ – тиск повітря в шині

Відмінність цих досить близьких понять полягає в співвідношенні адгезійної (T_a) і гистерезисної (T_d), або деформаційної, часток, сили тертя – зчеплення (рис. 2.4).

Адгезійні сили – це сили злипання (склеювання) поверхонь двох різнорідних твердих тіл, в даному випадку поверхні шини колеса та дорожнього покриття.

Адгезійна складова є результатом молекулярної взаємодії контактуючих матеріалів. Її значення залежить від матеріалу дорожнього покриття (наприклад, асфальтобетон або цементобетон) і тривалості контакту (тобто швидкості руху пари, що взаємодіє).

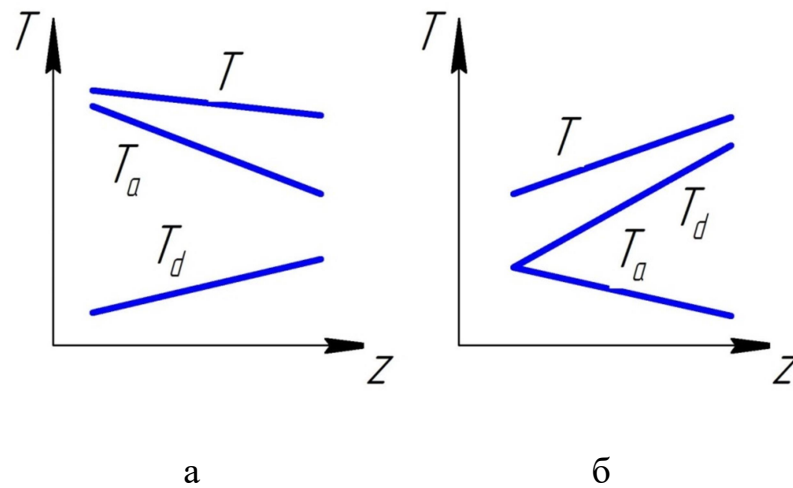


Рис. 2.4. Залежність адгезійної (T_a) і деформаційної (T_d) часток сили тертя (T) від шорсткості покриття: а – на сухому покритті; б – на мокрому покритті; z – висота виступів шорсткості

Деформаційна складова формується в результаті витрат енергії на взаємну деформацію контактуючих тіл виступами нерівностей, які перебувають на їх поверхні. На сухих дорожніх покриттях сила тертя в контактї шини формується в основному за рахунок молекулярної складової. На покриттях, які мають на своїй поверхні плівку води, автомобільного масла або палива, пилу, сила тертя в основному формується її деформаційною складовою. Молекулярна складова з'являється тільки після розриву плівки мастила нерівностями на поверхні контактуючих тіл і вступу їх в безпосередній контакт.

При ковзанні одного гладкого твердого тіла по іншому основну роль відіграють адгезійні сили, тобто тертя. При русі еластичної шини по дорожньому покриттю характер взаємодії змінюється. Дорожня поверхня завжди має нерівності і тому частка гистерезисної (деформаційної) складової значно більше, ніж адгезійної. Така взаємодія характеризується силою зчеплення [65].

При русі автомобіля по дорозі, тягове зусилля на колесах автомобіля, що забезпечується потужністю двигуна може бути розвинене лише в тому випадку, коли між колесом та дорогою є достатнє зчеплення. Відношення

максимального тягового зусилля на колесі P_k до вертикального навантаження G_k , при перевищенні якого починається буксування колеса, називають коефіцієнтом зчеплення, φ . В залежності від напрямку зсувної сили, що діє на колесо, розрізняють два види коефіцієнта зчеплення:

- коефіцієнт поздовжнього зчеплення $\varphi_{\text{пр}}$, що відповідає початку буксування колеса під час гальмування без дії на колесо бокової сили. Його використовують при обчисленні шляху, що проходить автомобіль під час гальмування та при оцінці можливості рушання автомобіля;

- коефіцієнт поперечного зчеплення $\varphi_{\text{поп}}$ – поперечна складова коефіцієнта зчеплення при зміщенні колеса, що рухається під дією бокової сили під кутом до площини качання, коли колесо обертаючись, ковзає вбік. Він характеризує стійкість автомобіля при проїзді кривих малого радіусу [64].

Численні експериментальні дослідження коефіцієнтів зчеплення, що були проведені вітчизняними та закордонними вченими, показали, що на їх значення більший вплив має стан дорожнього покриття, ніж його тип.

Аналіз досліджень коефіцієнту зчеплення [67] показує що на його величину впливають характеристики дорожнього покриття (текстура, шорсткість, матеріал), погодні умови, властивості шин, навантаження на вісь, типи та режими руху автомобілів, геометричні параметри та рівність проїзної частини.

Характеристика дорожнього покриття є найбільш важливим показником, що впливає на зміну коефіцієнта зчеплення. Найбільш це помітно в зимових умовах, коли стан покриття та його зчіпні якості різко погіршуються під впливом погодно-кліматичних умов.

У процесі експлуатації дороги величини мікро- і макрошорсткості покриття поступово зменшуються, що призводить до зменшення величини коефіцієнта зчеплення [16].

На ступінь, особливо в перший рік роботи покриття, істотно впливає початкова висота макронерівностей і розмір щебеню. Якщо забезпечено досить високу макрошорсткість, то зниження коефіцієнта зчеплення невелике.

При зносі макрошорсткості дорожнього покриття відбувається зміна форми виступів матеріалу, щебінь переорієнтується в просторі, а його верхня частина стає округлою.

Шліфування зерен щебеню сприяє зниженню величини коефіцієнта зчеплення, яка стабілізується, досягає свого мінімального значення і далі не змінюється, а визначається тільки мікрошорсткість кам'яного матеріалу.

Одночасно зі шліфуванням відбувається і зворотний процес – вивітрювання, який особливо посилюється в зимовий період. У результаті дії комплексу погодно-кліматичних факторів у кам'яному матеріалі виникають мікротріщини, які поступово збільшуються і призводять до руйнування його поверхневого шару. У зв'язку з цим на дорогах з невисокою інтенсивністю руху поверхня покриття досить довго зберігає необхідну мікрошорсткість. При значному транспортному потоці процес шліфування за інтенсивністю значно перевищує процес вивітрювання.

Найбільшою залишковою мікрошорсткістю і, відповідно, найбільшим мінімальним значенням коефіцієнта зчеплення, характеризується асфальтобетон на основі різноміцних і різнополіруємих матеріалів [19].

Контакт шини автомобіля і поверхні проїзної частини носить характер контакту фрикційного типу. Він характеризується наявністю між двома тілами, що контактують – третього. Третє тіло є плівкою, наприклад, у випадку автомобільної дороги це може бути плівка води, пил, залишки бензину або мастила. В теперішній час все, що стосується поверхні носить більш якісний характер ніж кількісний. Це є причиною неможливості створення точних неаналітичних методів оцінки зносостійкості матеріалів. Тому особливу важливість набуває кількісний аналіз структурних змін, що відбуваються безпосередньо на фрикційному контакті.

Складність процесів, що протікають у фрикційному контакті полягає в їхньому різноманітті. Механічне деформування матеріалу відбувається по двох схемах: введення з прорахуванням та зварювання (з утворенням адгезійних мостиків) з наступним відривом.

Не дивлячись на складність і різноманітність механічних, фізичних та хімічних процесів є деякі загальні положення для процесу тертя та зносу [67]:

1. Трьохшаровий характер процесу тертя полягає в тому, що на фрикційному контакті одночасно протікають три взаємопов'язаних процеси: взаємодія поверхонь, зміна під дією тертя поверхневих шарів тіл та плівок, руйнування поверхневого шару. Це відбувається у зв'язку із тим що коефіцієнт тертя та зносостійкість визначається ще й характером навколишньої середовища та режимом, що впливає на зміну властивостей тіл. Режим, в основному залежить від контактної температури, що розвивається при терті і відповідно від температурного градієнту. Вплив тиску та швидкості важливий не тільки сам по собі, а й тому, що він впливає на температуру в контакті. При низькому тиску в шинах збільшується тертя в покритті, вона швидше нагрівається, іноді до небезпечного рівня. Зі збільшення температури гуми протектору збільшується її м'якість. Гаряча шина краще чіпляється до асфальту. Однак, якщо шина нагріється надто сильно, вона почне губити свої властивості й зчеплення з дорогою погіршиться. Далі з гуми почне виділятися мастило й вона почне відділятися від кордону. Однак холодна гума також не може з достатньою ефективністю чіплятися до асфальту, тому сила тертя зменшується.

2. Дискретність контакту тіл. Шорсткість та хвилястість твердих тіл призводять до виникнення контакту в окремих плямах, що виникають у місцях на вершинах хвиль та виступів.

3. Практична постійність фактичного тиску при збільшенні навантаження. Зростання площі контакту зі збільшенням навантаження при контакті тіл, в основному, за рахунок збільшення кількості плям при незначному збільшенні їх діаметру. В результаті цього фактичний тиск на

одній плямі зростає слабко, в той час як номінальний тиск зростає. В ряді випадків розгляд контакту двох шорстких поверхонь може бути замінений розглядом контакту шорсткої та гладкої поверхонь.

4. Підсумування тангенціальних опорів використовують у зв'язку з дискретною природою твердих тіл, що зумовлені шорсткістю та хвилястістю.

$$T_{\text{сум}} = \sum_1^n T_i \quad (2.8)$$

Дисипацію енергії при виникненні та руйнуванні одиничного фрикційного зв'язку обумовлено, в основному, двома видами опору: подоланням молекулярної взаємодії в точках реального контакту та подоланням механічного опору пропахуванню. Дисипація енергії виявляється в тому, що відбувається перехід частини енергії упорядкованих процесів (кінетична енергія тіла, що рухається) в енергію неупорядкованих процесів, у кінцевому рахунку – в теплоту.

5. Для здійснення зовнішнього тертя необхідна локалізація всіх процесів взаємодії і руйнування в тонкому поверхневому шарі, тому зсувний опір повинен бути меншим.

6. Формування третього тіла при терті. Необхідність дотримання правила градієнта зсувного опору потребує для здійснення зовнішнього тертя формування послабленого поверхневого шару основного матеріалу або формування на поверхні тертя плівок, з меншим зсувним опором, ніж основа.

7. Стаціонарний стан пари тертя. На фрикційному контакті при незмінних зовнішніх параметрах (навантаження, швидкість, навколишнє середовище) протікають мимоволі процеси приробітку, що призводять до, як правило, мінімального значення тертя зносу, температури і формування відтвореної шорсткості. Це знаходиться, відповідно до принципу

мінімального виробництва ентропії, які формулюються нерівновісною термодинамікою.

Для повного вивчення процесів, що протікають у контакті шини з поверхнею проїзної частини необхідне повне дослідження факторів, що впливають на величину плями контакту шини з дорогою. Необхідно враховувати, що на площу контакту впливає наявність прошарку з бруду, мастила, вологи між шиною та дорогою. Всі вищезгадані фактори впливають на площу контакту, й опосередковано на зчіпні якості покриття, а таким чином і на безпеку руху транспортних засобів.

Серед вищезгаданих закономірностей слід виділити декілька тих на які організаціям з ремонту автомобільних доріг слід звернути особливу увагу, таким як подолання хвилястості та ямочності покриття, забезпечення зсувостійкості на покритті. Ці параметри підтримають необхідний рівень зчеплення, та входять до звичайних обов'язків цих організацій. Стосовно стану шин транспортних засобів, то дорожні організації, звісно, не мають на цей параметр впливу. Тому кожен автомобіліст повинен сумлінно ставитись до стану свого транспортного засобу в цілому, і стану шин в тому числі. Підтримання нормативного тиску в шинах та забезпечення необхідної висоти малюнку протектора допоможе зберегти зчеплення з дорогою та забезпечити власну безпеку та інших учасників дорожнього руху.

Що стосується закономірностей процесу зносу покриття, стирання бітумної плівки, то ці процеси вимагають більш глибокого аналізу та вивчення.

Поверхня дорожнього покриття завжди має нерівності різного випадкового розміру та форми. Нерівності прийнято поділяти на три види [39]: макронерівності, мікронерівності, шорсткість. Шорсткості притаманні нерівності з довжиною хвилі до 0,1 м, які не викликають низькочастотних коливань автомобіля на підвісці і не впливають на роботу двигуна. Саме шорсткість забезпечує контакт протектора шини з дорожньою поверхнею. В свою чергу шорсткість за характером походження поділюють на

дві групи [22]: макрошорсткість (нерівності довжиною хвилі більше 2-3 мм і висотою більше 0,2-0,3 мм – формуються виступаючими частинами кам'яного матеріалу), мікрошорсткість (нерівності поверхні довжиною хвилі менше 2-3 мм і висотою менше 0,2-0,3 мм, які є власною шорсткістю частинок кам'яного матеріалу).

Шорсткість впливає сильно на величину коефіцієнту зчеплення. Його можна виразити через площу контакту шини з покриттям [15]:

$$\varphi = \frac{F_{max}}{G_k} = \frac{\int_0^S f dS}{kpS}, \quad (2.9)$$

де G_k – вертикальне навантаження на колесо автомобіля;

k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції шини;

p – тиск повітря в шині;

S – площа контакту шини з покриттям дороги;

F_{max} – сумарна реакція в площі зони контакту шини з покриттям.

Розрізняють контурну та фактичну площі контакту шин із покриттям дороги. Контурна площа не залежить від шорсткості, а визначається тільки конструкцією шини, тиском повітря в ній та навантаженням на колесо автомобіля [68]. Фактична площа контакту залежить від шорсткості покриття. Через виступи макрошорсткості гума протектору шини в межах контурної площі контакту не усюди торкається до матеріалу покриття. З цієї причини фактична площа контакту шини менше контурної: чим більше нерівності, тим менша площа контакту. Залежність фактичної площу контакту від контурної можна описати відомою залежністю [15]

$$\frac{S_\phi}{S_k} = 32.88 R_{сер}^{0.8} \quad (2.10)$$

Величина фактичної площі контакту визначається геометричними параметрами виступів макрошорсткості – висотою, кроком та кутом при вершині. Перші два параметри визначають кількість плям контакту, тобто

кількість місць безпосереднього контакту матеріалу покриття з протектором шини. Це впливає на глибину проникнення виступів в гуму протектора, тобто площу контакту.

При вивченні фактичної площі контакту, через наявність великої кількості форм кам'яного макрошорсткості кам'яного матеріалу в першому наближенні прийнято модель поверхні дорожнього покриття, що складається з сферичних елементів радіусу R на жорсткій основі. В більшості ситуацій контакт шини пружній, тому радіус кругової площадки плями можна визначити за моделлю Герцена [15].

$$r_i = \left(\frac{3}{4} G_k R \theta\right)^{1/3} \quad (2.11)$$

де G_k – нормальне навантаження на нерівність макрошорсткості;

θ – пружна постійна гуми протектора, $\theta = \frac{1-\mu^2}{E}$;

μ – коефіцієнт Пуассона;

E – модуль пружності гуми.

Площа однієї плями контакту, що утворена нерівністю може бути визначена за формулою:

$$S_o = \pi \left(\frac{3}{4} G_k R \theta\right)^{2/3} = \pi \left(\frac{3}{4} G_k (\varepsilon - x) R \theta\right)^{2/3} \quad (1.12)$$

де ε – відносне зближення покриття і протектора шини, $\varepsilon = \frac{h_{BT}}{R}$;

h_{BT} – глибина втискання виступа макрошорсткості в протектор шини.

При багаторазовому контакті загальна фактична площа контакту може бути визначена:

$$dS_\phi = \pi n \left(\frac{3}{4} G_k (\varepsilon - x) R \theta\right)^{2/3} f'(x) dx \quad (2.13)$$

де n – число нерівностей макрошорсткості в межах контурного майданчика контакту;

x – рівень на якому лежить вершина виступу.

З виразів (2.12) та (2.13) видно, що площа плями контакту, а отже і повна фактична площа контакту шини залежить від глибини втискання нерівностей макрошорсткості в гуму протектора. Згідно [15] відносне зближення гуми протектора і нерівностей макрошорсткості покриття можна оцінити за виразом:

$$\varepsilon = \frac{h_{\text{вТ}}}{R} = \left(\frac{2\sqrt{\pi}p_c\theta}{K_V} \left(\frac{r}{Rb_1^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{2}{2V+1}} \quad (2.14)$$

де p_c – контурний тиск, $p_c = \frac{G_k}{S_k}$

b_1 , v – параметри отримані в результаті обробки профілограмм поверхні покриття

K_V – коефіцієнт (при $v=2$ $K_V = 0,6$, при $v=3$ $K_V = 0,52$)

r – радіус при вершині нерівностей макрошорсткості;

Глибина втискання при $v=2$ (розподіл Гауса) після перетворення

$$h_{\text{вТ}} = (5,91p_c\theta)^{\frac{2}{5}} \left(\frac{r}{b_1^2} \right)^{\frac{1}{5}} R^{\frac{1}{5}} \quad (2.15)$$

При трикутній формі виступів шорсткості та постійному куті при вершині залежність (2.15) набуває наступного вигляду:

$$h_{\text{вТ}} = KR_{\text{сер}}^{\frac{4}{5}} \quad (2.16)$$

Характер залежності глибини втискання від висоти нерівностей макрошорсткості зберігається и для реальних умов взаємодії шини із покриттям. У більшості випадків форма виступів макрошорсткості випадкова та неправильна. За експериментальними даними [15] для дорожніх покритть коефіцієнт $K=1,267$, показник ступеню $R_{\text{сер}}=0,38$.

Таким чином:

$$h_{\text{вТ}} = 1,267R_{\text{сер}}^{0,38} \quad (2.17)$$

З рівнянь (2.16) та (2.17) виходить, що відносне наближення протектора шини і покриття дороги зменшується зі зростанням висоти нерівностей макрошорсткості. Інтенсивність цього зменшення різноманітна в залежності від висоти нерівностей макрошорсткості. Аналіз рівняння $h_{\text{вТ}}/R_{\text{сер}} = f(R_{\text{сер}})$ виявляє перелом у кривій у діапазоні $R_{\text{сер}} = 4,5 \dots 6$ мм. В діапазоні висот менше 4,5 мм відносна глибина втискання швидко зменшується зі зростанням $R_{\text{сер}}$ (тангенс кута нахилу лівої гілки кривої $lgh_{\text{вТ}}/R_{\text{сер}} = f(R_{\text{сер}})$ дорівнює 0,078). При висоті макронерівностей більше 6 мм наближення протектора шини і покриття дороги змінюється не сильно, що підтверджується в два рази меншою величиною (0,038) тангенсу кута нахилу правої гілки кривої.

Динамікою зміни коефіцієнта зчеплення в період експлуатації автомобільної дороги займалися такі вчені, як: Борисюк М. В. [69], Zarijs A. [70], Haritonovs V., [71], Sivilevicius H., [72] та інші. Аналіз результатів досліджень показує, що на величину коефіцієнта зчеплення впливають такі показники, як: характеристика дорожнього покриття (текстура, шорсткість, матеріал), погодні умови, властивості шин, навантаження на вісь, типи та режими руху автомобілів, а також геометричні параметри та рівність проїзної частини. Численні дослідження довели, що характеристика дорожнього покриття, шорсткість в окремому випадку, є найбільш важливим показником, що впливає на зміну величини коефіцієнта зчеплення. Основною причиною зменшення шорсткості (зносу) покриття є механічні показники, що залежать від інтенсивності та складу транспортного потоку. В результаті їх взаємодії відбувається постійне оголення та шліфування крупних мінеральних зерен асфальтобетону, а значне збільшення інтенсивності руху вантажних автомобілів призводить до прискорення процесу шліфування зерен.

Згідно результатів досліджень [16] зміну величини коефіцієнту зчеплення асфальтобетонного покриття в період тривалої експлуатації, після побудови або ремонту автомобільної дороги можна представити у вигляді графіку (рис. 2.5), а також математичної моделі:

$$k_{зч} = f_3(N_p, S_{tp}, m, v, p), \quad (2.18)$$

де N_p – сумарна кількість розрахункових автомобілів за період експлуатації, авт.

Зміна коефіцієнта зчеплення від нормативних ($k_{норм}$) значень до допустимих ($k_{доп}$) відбувається в результаті дії на автомобільну дорогу механічних та погодно-кліматичних факторів.

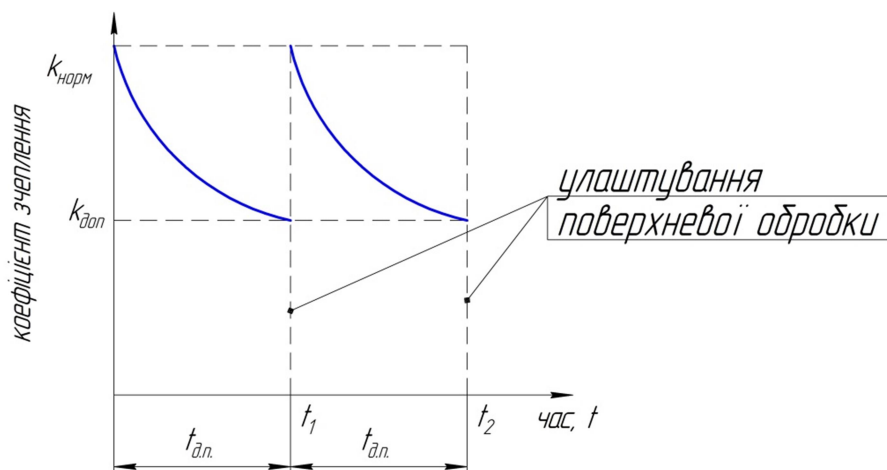


Рис. 2.5. Зміна величини коефіцієнта зчеплення в період експлуатації автомобільної дороги

Таким чином, дія механічних факторів проявляється за рахунок тертя кочення, ковзання та ударного навантаження від колеса автомобіля, і залежить від інтенсивності та складу транспортного потоку.

Під дією механічних факторів відбувається шліфування зерен кам'яного матеріалу, в результаті чого зчеплення колеса з покриттям зменшується. Під дією погодно-кліматичних факторів в кам'яному матеріалі утворюються мікротріщини, які поступово збільшуються, руйнуючи поверхневий шар і зменшуючи шорсткість покриття.

2.2 Моделювання поверхні дорожнього покриття

Вісь автомобільної дороги прийнято розглядати як направляючу лінію поверхні проїзної частини. Геометрична та математична моделі поверхні проїзної частини задають безперервний каркас поверхні. В якості утворюючих поверхонь проїзної частини приймається пряма лінія. Таким чином поверхня є лінійчатою, що відповідає практиці будування автомобільних доріг [73].

Для того щоб зрозуміти процес взаємодії колеса з дорожнім покриттям необхідно змоделювати саму поверхню дорожнього покриття з масивом нерівностей, що створені частками мінерального матеріалу. Параметрами, що входять до моделі покриття є: середня глибина впадин шорсткості ($h_{\text{сер}}$), середній крок виступів шорсткості ($S_{\text{сер}}$), середній радіус виступів шорсткості ($R_{\text{сер}}$). У своїй роботі хочу звернути увагу саме на нерівності поверхні проїзної частини, оскільки саме вони відповідають за забезпечення шорсткості, а таким чином і за зчеплення шини з покриттям (рис. 2.6.).

За наведеними параметрами можливе використання поверхні дорожнього покриття описаної, за виразом, що запропоновано в роботі [74]:

$$h_{\text{сер}} = m - R_{\text{сер}}^2 (b_3 - 0,5 \sin 2b_3) / S_{\text{сер}} \quad (2.19)$$

де m – відстань між лінією впадин та лінією виступів, яка характеризує можливу глибину проникнення виступів шорсткості в протектор;

$$b_3 = \arccos\left(1 - \frac{m}{R_{\text{сер}}}\right) \quad (2.20)$$

Даний вираз неодноразово використовувався в роботах різних авторів, як основа в питаннях вивчення шорсткості та зчеплення. Його покладено в основу пристрою для перетворення та реєстрації профілю шорсткості поверхні дорожнього покриття «ДПП-3» [75].

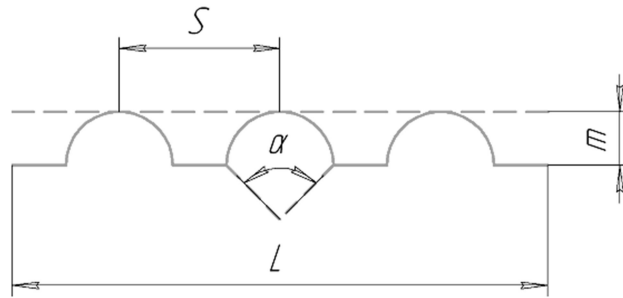


Рис. 2.6. Двовимірна поверхня дорожнього покриття

Розглянемо більш детально параметри цього виразу. Форму виступів шорсткості дорожніх покриттів можна характеризувати середнім кутом при їх вершині [76]. У роботах [77, 78] проведено дослідження розподілу кутів при вершинах виступів в межах $70 - 110^\circ$, $110 - 150^\circ$, $150 - 190^\circ$, що являє собою більш інформативну характеристику ніж їх середнє значення.

В якості параметру, який описує форму виступів шорсткості, використовується радіус при вершині виступів $R_{\text{сер}}$ [79]:

$$R_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (2.21)$$

де R_i – радіус кола, яке вписане в i -тий виступ нерівностей профілю .

Величина даного параметру у значній мірі залежить від стану покриття автомобільної дороги. Адже, при значному терміні експлуатації частини кам'яного матеріалу зазнають великого динамічного навантаження від транспорту. Тому з часом кам'яний матеріал все більше округлої форми, яка вже не може забезпечити вихідну шорсткість поверхні. Для того, щоб зрозуміти процес зношення щебеню, а також його взаємодію з протектором шини необхідно спочатку змодельовати кам'яний матеріал окремо від покриття автомобільної дороги.

Прийmemo за модель щебеню – трикутник ABC, де сторона AC – величина фракцій щебеню (рис.2.7).

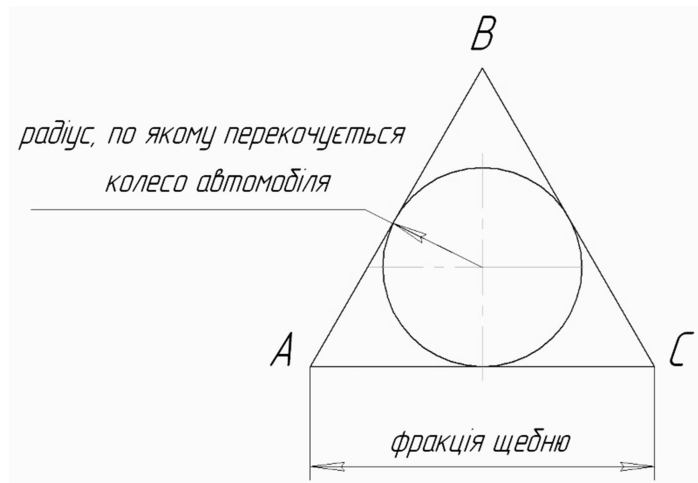


Рис. 2.7. Спрощений до трикутної форми щебінь

Дану геометричну фігуру досить зручно використовувати для опису кам'яного матеріалу, тобто щебеню, що використовується в асфальтобетоні. Така форма наближена до реальної форми кам'яного матеріалу (рис 2.8). Використовуючи таку форму при моделюванні легко враховувати показник лещадності, та не використовувати щебінь такого виду при моделюванні. За правилами вміст щебеню лещадної форми може бути не більше 15 % від загальної кількості кам'яного матеріалу [80].

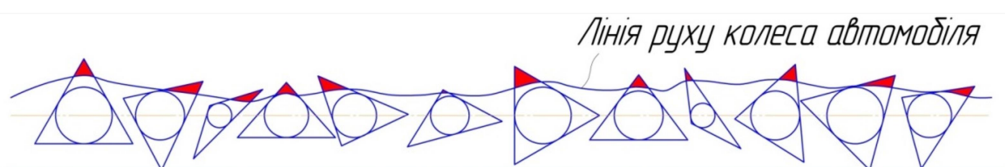


Рис. 2.8. Поверхня покриття автомобільної дороги з кам'яним матеріалом трикутної форми

Також важливим є той факт, що при багаторазовому проїзді транспортних засобів виступаючі частинки кам'яного матеріалу шліфуються, таким чином радіус при вершині виступів поступово наближається до розрахункового, тобто радіусу кола, що вписане в трикутник.

Для дослідження величини середнього кроку нерівностей в сучасних умовах, при використанні сучасних шин можна використати комп'ютерну

обробку зображення відбитку шини на поверхні проїзної частини (рис 2.9). Для даної задачі були обрані шини MICHELIN Primacy 3 215/50R17 95W, шириною протектору 215 мм.



Рис. 2.9. Відбиток шини MICHELIN Primacy 3 215/50R17 95W

Для дорожніх покриттів, які влаштовуються з використанням щебеневого матеріалу, при визначенні параметру m існує умова [75]

$$h_{\text{сер}} \leq m < 2R_{\text{сер}} \quad (2.22)$$

Якщо $h_{\text{сер}} > m$ виступи шорсткості заглиблюють у протектор так, що контакт відбувається нижче лінії впадин, що не можливо за логікою. Якщо $m > 2R_{\text{сер}}$, то зерна кам'яного матеріалу знаходяться у підвішеному стані, тобто не контактують з лінією впадин, що не можливе, оскільки зерно повинно перетинатись з лінією впадин в двох точках, як мінімум. Положення, коли щебінь тільки торкається до лінії впадин $m = 2R_{\text{сер}}$ є нестабільним, тому теж не приймається до розгляду.

Вивчення даних параметрів дає більш чітку картину для опису існуючої шорсткості автомобільної дороги. Дані параметри, особливо радіус при вершині нерівностей кам'яного матеріалу дає можливість розглядати стан кам'яного матеріалу у динаміці.

Стосовно середньої глибини впадин шорсткості, ця величина безпосередньо зв'язана з радіусом нерівностей кам'яного матеріалу, та змінюється в процесі експлуатації автомобільної дороги. Більш цікавим параметром, на мій погляд, є площа контакту протектору шини з частками кам'яного матеріалу, яку добре видно на цифровому зображенні відбитку шини на поверхні проїзної частини (рис 2.10).



Рис. 2.10. Площа контакту протектору шини з частками кам'яного матеріалу

Численні дослідження [81, 82] встановили, що на величину коефіцієнта зчеплення впливають не тільки висота, а й характер розподілу нерівностей шорсткості, глибина втискання виступів шорсткості в гуму протектору. Петровим було розроблено формулу, яка показує при якій шорсткості спостерігається мінімальний коефіцієнт зчеплення:

$$\Delta = 1,34 \times 10^2 \left(\left(\frac{\tau_0}{a_{\text{еф}}} \right)^3 E B_n (r_0 a_2)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\epsilon}{P_{WEGK}} \right)^{1/2} \right), \quad (2.23)$$

де Δ - характеристика мікрогеометрії поверхні шорсткості:

$$\Delta = \frac{R_{max}}{R_n}, \quad (2.24)$$

де R_{max} - максимальна висота виступів текстури поверхні дорожнього покриття;

R_n – середня глибина впадин між виступами;

τ_0 – фрикційна характеристика, що залежить від умов роботи пари, що третється (за фізичною суттю, пов'язані з появою третього тіла в контакті при терті);

a_{ef} – коефіцієнт гістерезисних втрат при ковзанні мікроненівності, що залежить від напруженого стану в зоні дотику;

E – модуль пружності;

B_n – ширина протектору шини;

r_0 – радіус колеса, що відповідає радіусу бігової доріжки шини, що вільна від навантаження;

P_w – тиск повітря в шині;

E – модуль пружності;

G_K – вертикальне навантаження на колесо

Аналогічний показник можна використовувати [83] для оцінки насиченості одиниці поверхні виступами шорсткості. Тоді для визначення площі торкання виступів шорсткості з протектором шини в зоні контакту можна використовувати залежність (2.25), вводячи поправочний коефіцієнт K_1 , що враховує зміну площі контакту в результаті вдавлювання виступів шорсткості в гуму протектору:

$$A_c = 2K_{пр}B_n(z_0 \frac{a_2 G_R (a_2^2 G_K - 4a_1 P_w^2 G_K)}{P_w})^{1/2} K_1 \quad (2.25)$$

Формула (2.7) дозволяє розрахувати фактичну площу дотику шини з поверхнею качання, яка залежить від рисунку протектора шин ($K_{пр}$), текстури поверхні дорожнього покриття (K_1). Величина коефіцієнту $K_{пр}$ залежить від насиченості рисунку протектора та достатньо стабільна: для дорожнього типу рисунку протектора шин легкових і грузових автомобілів коефіцієнт насиченості складає 65-80%, для універсального та зимового – 55-60%. Дорожній тип рисунку використовують для шин, що експлуатуються на

дорогах із удосконаленим типом покриття, взимку – на заледенілих та засніжених дорогах.

Коефіцієнт K_1 , визначається параметрами шорсткості (висотою, формою, щільністю розташування и т. д.) на поверхні покриття дороги. Для абсолютно гладкого рівного покриття він рівняється одиниці. Відомі пропозиції по оцінці фактичної площі контакту шин стосуються лише експериментальних способів (фактично метод лише один – метод відбитків, різняться лише способи їх отримання). Будь-яких теоретичних (розрахункових) рішень з цього приводу немає.

Таким чином, при значному терміні експлуатації автомобільної дороги частинки кам'яного матеріалу зазнають великого динамічного навантаження від транспорту. При багаторазовому проїзді транспортних засобів виступаючі частинки кам'яного матеріалу шліфуються, таким чином радіус при вершині виступів поступово наближається до розрахункового, тобто радіусу кола, що вписане в трикутник, тому використання параметру радіусу при вершині виступів $R_{сер}$ є доцільним. На величину коефіцієнта зчеплення впливають не тільки висота, а й характер розподілу нерівностей шорсткості, глибина втискання виступів шорсткості в гуму протектору.

2.2. Моделювання кам'яного матеріалу поверхні проїзної частини

В сучасному науковому світі велика увага приділяється вивченню та розробці емпіричних методів визначення факторів, що впливають на процес зносу покриття автомобільної дороги. Окрему частину в теорії взаємодії колеса автомобільного транспорту із покриттям автомобільної дороги представляє вивчення плями контакту, а саме параметрів, що впливають на її геометричні характеристики, а внаслідок і на зчіпні характеристики в цілому. Існує ряд конструктивних факторів, що впливають на розмір плями контакту – тиск усередині шини, тип малюнку протектора, а також швидкість руху

транспортного засобу. Для визначення плями контакту необхідне моделювання максимально наближеної до реальності поверхні автомобільної дороги [84].

Оскільки зменшення відносного наближення шини до покриття говорить про те, що в результаті збільшення нерівностей макрошорсткості відбувається не тільки кількісна, а й якісна зміна деформації протектора гуми, то доцільним є використання для моделювання щебеню фракцій 5-10, 10-20 – при великій висоті нерівності вже не втискаються в гуму, а шина перекочується по них.

Враховуючи використання щебеню фракцій 5 та 10, можна змоделювати різноманітну форму кам'яного матеріалу. Прийmemo трикутну форму щебеню, в який вписане коло. Враховуючи, що поступово частки кам'яного матеріалу стираються під дією постійного руху транспорту радіус при вершині виступів постійно буде наближатись до розрахункового.

Для моделювання геометричних характеристик розрахуємо висоту трикутника за формулою:

$$h = \frac{2}{a} \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}, \quad (2.26)$$

де h – висота трикутника;

p – полупериметр трикутника;

a, b, c – сторони трикутника

Наприклад, перший варіант трикутника, з основою 5 мм, має висоту 4,33 мм, радіус 1,443 (рисунок 2.11).

Далі маючи фракції щебеню 5-10, 10-20 з точністю 0,05 мм розрахуємо геометричні параметри моделі кам'яного матеріалу, та побудуємо графік за цими параметрами [85].

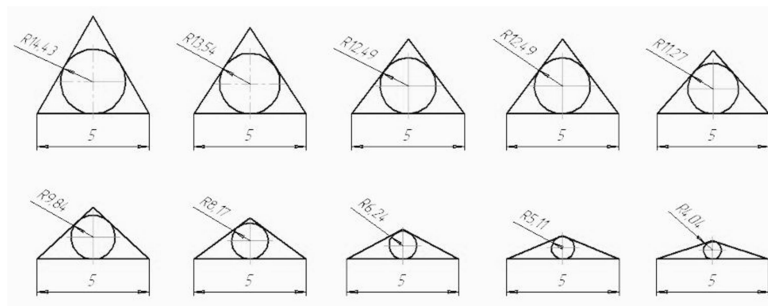


Рис. 2.11. Вигляд моделі щебеню в залежності від параметрів

Змінюємо геометричні показники зменшуючи висоту трикутника з кроком 0,05 мм, до тих пір, поки співвідношення висоти до довжини не досягне показника лещадності, тобто $1/3$ (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

Розрахунок радіусу при вершинах нерівностей кам'яного матеріалу фракції 5

№	a	b	c	h	r
1	5	5	5	4,33	2,886751
2	5	4,973932	4,973932	4,3	2,876665
3	5	4,930771	4,930771	4,25	2,85973
...
54	5	3,023243	3,023243	1,7	1,538951

Таким саме чином розрахуємо радіуси для щебеню фракції 10 (таблиця 2.3).

Розрахунок для проміжних значень фракцій 5-10 та 10-20 наведено у додатку А.

Таблиця 2.3

Розрахунок радіусу при вершинах нерівностей кам'яного матеріалу фракції 10

№	a	b	c	h	r
1	10	10	10	8,66	5,773503
2	10	9,95651	9,95651	8,61	5,75669
...
107	10	6,024085	6,024085	3,36	3,047872

Далі будемо графіки розподілу величини радіусу при вершині кам'яного матеріалу (рис. 2.12.). Маємо три графіки для різних значень фракцій кам'яного матеріалу, та три рівняння залежності радіусу від розмірів кам'яного матеріалу [86].

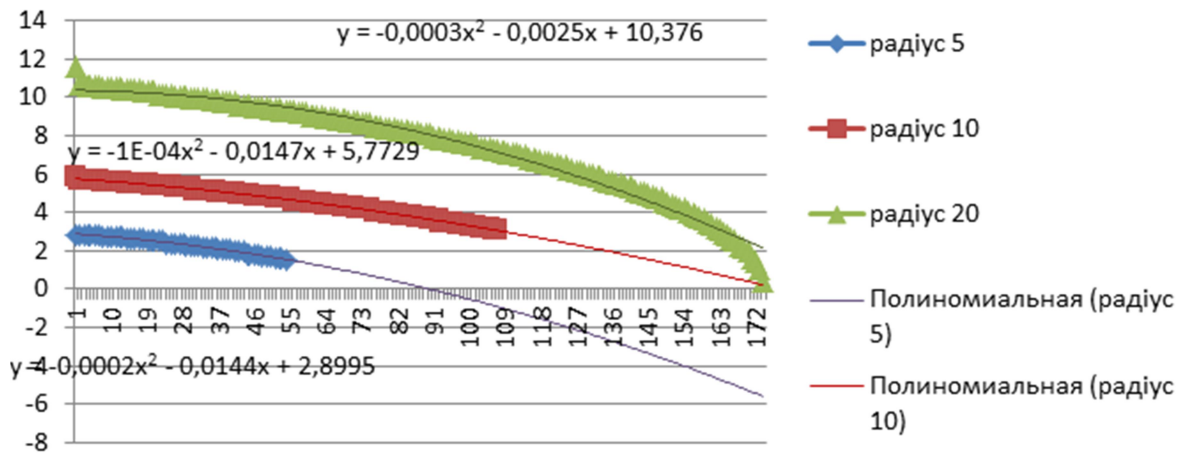


Рис. 2.12. Залежність радіусу при вершині кам'яного матеріалу від його геометричних характеристик

За наведеними графіками маємо модель кам'яного матеріалу:

$$\begin{aligned} y &= -0,0003x^2 - 0,0025x + 10,376 \\ y &= -1E-04x^2 - 0,0147x + 5,7729 \\ y &= -0,0002x^2 - 0,0144x + 2,8995 \end{aligned} \quad (2.27)$$

З наведеного розрахунку видно, що найбільший радіус при вершині нерівностей кам'яного матеріалу спостерігається в щєбня найбільш наближеного до правильної трикутної форми. До того ж щєбінь, що наближується до критичної лещадності, в разі його горизонтального положення може бути перекритий зверху іншим щєбенем, або може бути поламаний по довжині вже під час укладання та ущільнення.

Надалі максимальну величину радіусу при вершинах нерівностей можна замінити величиною висоти нерівностей профілю [87]. Як було вказано вище, чим більше часу експлуатується автомобільна дорога тим

більше стирається кам'яний матеріал та тим більше величина радіусу наближується до розрахункової, а також лінія профілю шорсткої поверхні проходить плавно по точках вписаних кіл у трикутні моделі кам'яного матеріалу (рис 2.13).

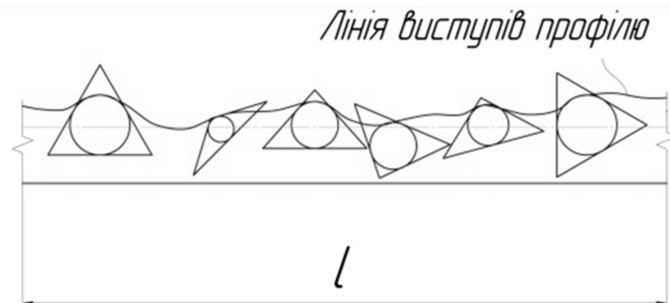


Рис. 2.13. Лінія профілю шорсткої поверхні автомобільної дороги

Згідно [88] для визначення середнього значення висоти нерівностей профілю необхідно абсолютних висот профілю необхідна сума п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших впадин профіля в межах базової довжини (рис 2.14).

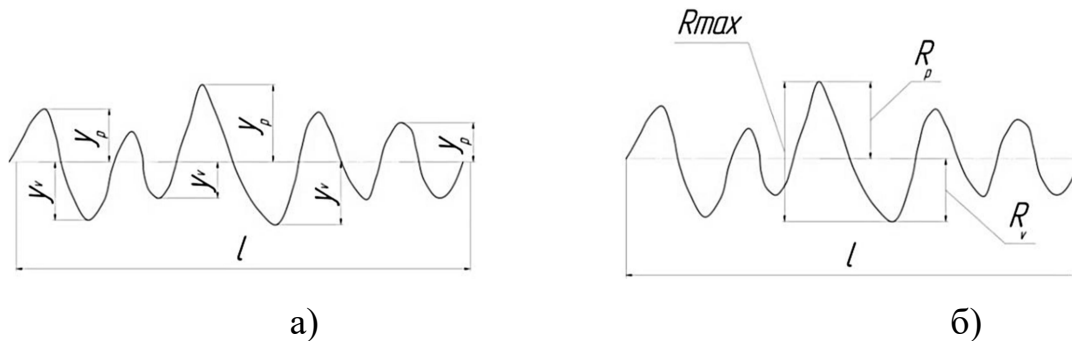


Рис. 2.14. а) висоти виступів та впадин лінії профілю,
б) найбільша висота нерівностей профілю

Також розрахуємо середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю R_a , середнє квадратичне значення відхилень профілю R_q та середнє значення параметру шорсткості \bar{P} [88] (табл 2.4).

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}, \quad (2.28)$$

де y_{pi} – висота і-того найбільшого виступу профіля;

y_{vi} – глибина і-тої найбільшої впадини профіля

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (2.29)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx} \quad (2.30)$$

Таблиця 2.4

Розраховані параметри шорсткості покриття з урахуванням коефіцієнту
лещадності

Фракція щебеню	Висота нерівностей	Коефіцієнт лещадності	R_z	R_a	R_q	\bar{P}
5	2,8867	0,1	8,049137	2,793996	0,587119	5,866258
5	2,8766	0,1				
5	2,8597	0,1				
5	2,8425	0,1				
5	2,8251	0,1				
10	5,7735	0,1				
10	5,7567	0,1				
10	5,7398	0,1				
10	5,7229	0,1				
10	5,7058	0,1				
20	11,5470	0,1				
20	10,6805	0,1				
20	10,6575	0,1				
20	10,6343	0,1				
20	10,6110	0,1				

Таким чином, отримано результати середнього значення висоти нерівностей для щебеню фракцій 5-10, та 10-20 маючи ці дані можна перейти до розрахунку площі контакту протектору шини з поверхнею проїзної частини, оскільки величина площа контакту зв'язана з висотою нерівностей, а таким чином з величиною та формою кам'яного матеріалу.

Оскільки не було враховано деяку частину лещадного щебеню, вважаю за необхідне ввести коефіцієнт нещадності до розрахунку, який приймаємо

10% від загальної кількості щебню, що зазвичай використовується в дорожньому будівництві.

2.3 Моделювання кам'яного матеріалу на поверхні покриття

Оскільки було прийнято допущення про розрахунок лінії руху колеса по радіусу при вершині кам'яного матеріалу, буде доцільним привести площу контакту до поверхні обертання.

За аналогією з криволінійним інтегралом 1-го типу, фізична ілюстрація якого полягає в знаходженні маси матеріальної кривої з відомою лінійною щільністю, поверхневий інтеграл 1-го типу висловлює, наприклад, масу матеріальної поверхні з заданою поверхневою густиною. Поверхневий інтеграл 1-го типу дорівнює межі, при прагненні найбільшого діаметра розбиття до нуля, інтегральної суми:

$$\iint_S f(x, y, z) dS, \quad (2.31)$$

$$\sum_i f(x_i, y_i, z_i) \Delta S_i, \quad (2.32)$$

де ΔS_i площа i -го майданчика, на які розбивають інтегруєму поверхню S , а (x_i, y_i, z_i) - значення інтегрованої функції в довільній точці зазначеного майданчика. Інтегрована функція F задана в деякій декартовій системі координат (x, y, z) . Крім того за діаметр елементарного майданчика ΔS_i беремо діаметр, що описує майданчик шару.

Для обчислення поверхневого інтеграла i -го типу, його зводять до більш звичного подвійного інтегралу. Це робиться в загальному випадку, коли поверхню задано векторним параметричним рівнянням.

Нехай поверхня S взаємно відображається векторною функцією на деяку область Ω площини (i, v) . Будемо вважати, що сюди входять функції безперервно диференціюємі в області Ω , що забезпечує гладкість поверхні S

і наявність в кожній з її точок єдиної дотичної площини. При цьому, поверхневий інтеграл і-го типу по S поверхні зводиться до подвійного інтегралу по області Ω . Встановимо вигляд подвійного інтеграла. Для цього знайдемо, чому дорівнює площа нескінченно малого елемента поверхні dS , відображуваного в прямокутник площею $d\Omega = dudv$. Побудуємо два дотичних до поверхні S вектора (рис. 2.15).

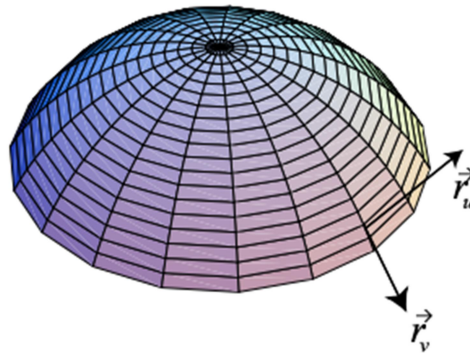


Рис. 2.15. Модель сферичної поверхні кам'яного матеріалу

Частина сферичної поверхні, що задана параметричними рівняннями $x = \cos u \sin v$, $y = \sin u \cos v$, $z = \cos v$; $u \in [0, 2\pi]$ $v \in [0, \pi/3]$. На поверхні нанесено лінії $u = \text{const}$ і $v = \text{const}$. Вектори зображені на рисунку дотичні до поверхні в обраній точці.

$$d_u \vec{r} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial u} du \quad (2.33)$$

$$d_v \vec{r} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial v} dv \quad (2.34)$$

Площа згаданого елемента поверхні S , з точністю до нескінченно малою вищого порядку, дорівнює площі паралелограма, утвореного векторами $d_u \vec{r}$ та $d_v \vec{r}$.

$$dS = |[\partial_u \vec{r} \times \partial_v \vec{r}]| = \left| \left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial u} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \right] \right| dudv \quad (2.35)$$

Замінивши dS на праву частину останнього рівності, а поверхню інтегрування S на область Ω , прийдемо до висновку, що поверхневий інтеграл 1-го типу в такий спосіб виражається через подвійний інтеграл:

$$\iint_S f(x, y, z) dS = \iint_{\Omega} f(x(u, v), y(u, v), z(u, v)) \left| \left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial u} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \right] \right| dudv \quad (2.36)$$

Для обчислення інтеграла по сфері, знайдемо параметричне рівняння сфери. Його можна отримати з формул перетворення сферичних координат в декартовій системі, прирівнявши радіальну координату r до радіусу нашої сфери a . При цьому роль змінних (u, v) будуть грати кутові координати (θ, φ) :

$$\begin{cases} x = a \sin \theta \cos \varphi \\ y = a \sin \theta \sin \varphi \\ z = a \cos \theta \end{cases} \quad (2.37)$$

$$0 \leq \theta \leq \pi, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi$$

Відповідне векторне рівняння поверхні має вигляд:

$$\vec{r}(\theta, \varphi) = \vec{i} a \sin \theta \cos \varphi + \vec{j} a \sin \theta \sin \varphi + \vec{k} a \cos \theta \quad (2.38)$$

Підрахуємо векторний добуток, що фігурує у формулі:

$$[\vec{r}_{\theta} \times \vec{r}_{\varphi}] = a^2 \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \cos \theta \cos \varphi & \cos \theta \sin \varphi & -\sin \theta \\ -\sin \theta \sin \varphi & \sin \theta \cos \varphi & 0 \end{vmatrix} \quad (2.39)$$

$$[\vec{r}_{\theta} \times \vec{r}_{\varphi}] = \vec{i} a^2 \sin^2 \theta \cos \varphi + \vec{j} a^2 \sin^2 \theta \sin \varphi + \vec{k} a^2 \cos \theta \sin \theta \quad (2.40)$$

$$|[(r_{\theta})^{\rightarrow} \times (r_{\varphi})^{\rightarrow}]| = a^2 \sqrt{\sin^4 \theta + \cos^2 \theta \sin^2 \theta} = a^2 \sin \theta \quad (2.41)$$

Отже, поверхневий інтеграл по сфері зводиться до подвійного інтеграла:

$$I_1 = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi a^4 \sin \theta d\theta = -2\pi a^4 \cos \theta \Big|_0^\pi = 4\pi a^4 \quad (2.42)$$

Звернемо увагу на те, що використане при обчисленні інтеграла по сфері співвідношення $dS = a^2 \sin \theta d\theta d\varphi$ можна легко отримати за допомогою наочних геометричних побудов.

Маючи наочне математичне описання поверхні нерівностей кам'яного матеріалу перейдемо до комп'ютерного моделювання поверхні покриття автомобільної дороги, а також обробки зображення поверхні кам'яного матеріалу. В своїх подальших обчисленнях вважаю за потрібне використовувати коефіцієнт лещадності, щоб максимально можливо наблизити комп'ютерну модель поверхні до реальних умов, де кам'яний матеріал має не форму сфери, а різноманітні варіації геометричних форм та розмірів.

2.4 Обробка зображення відбитку шини на частинах кам'яного матеріалу

У найзагальнішому вигляді системи комп'ютерного зору мають на увазі перетворення даних, які поступають з пристроїв захоплення зображення, з виконанням подальших операцій на основі цих даних.

На зображенні відбитку шини чітко видно, що контакт малюнку протектора шини відбувається саме з частками кам'яного матеріалу, з втискуванням гуми у ці частки (рис 2.16). Для аналізу шорсткості проведемо дослідження саме з місцями, в яких відбувається контакт. Для масової обробки зображень відбитку шини на поверхні часток кам'яного матеріалу можна використати метод комп'ютерного зору. В галузі комп'ютерного зору і обробки зображень під терміном виділення ознак (feature detection) мають на увазі методи, які спрямовані на обчислення абстракцій графічної

інформації і дозволяють встановити для кожної точки зображення чи присутня ознака зображення конкретного типу в цій точці чи ні [88].

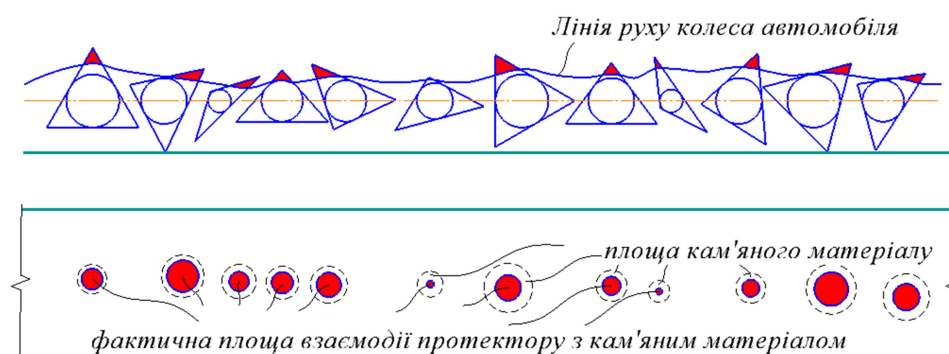


Рис. 2.16. Схема відбитку протектору шини на кам'яному матеріалі поверхні

Не існує універсального чи точного визначення, що собою являє ознака, і точне визначення часто залежить від задачі або області застосування алгоритму. Враховуючи те, що під ознакою розуміють "цікаву" частину зображення, і ці ознаки використовуються в якості вхідних даних до багатьох алгоритмів комп'ютерного зору, тому такі алгоритми мають такі можливості, як ті детектори ознак, які він використовує. Бажаною властивістю виділення ознак є "повторюваність": чи можна виявити одну і ту саму ознаку в двох або більше різних зображень однієї і тієї ж сцени. У випадку з розподіленням щебеню по поверхні поїзної частини можна говорити про повторюваність щебеню однієї фракції, але існує проблема пов'язана з різноманітністю форм кам'яного матеріалу.

Виділення ознак це операція обробки зображень низького рівня. Вона зазвичай виконується першою, і проходить по кожному пікселю для перевірки ознак в тому пікселі. Для обробки зображення відбитку шини використовується високоточна та багатопиксельна картинка, що дозволить найбільш детально перевірити край зображення, та виділити необхідну область зображення. Якщо ця задача є частиною більшого алгоритму, тоді той алгоритм далі працювати із зображенням, скануючи області цих ознак.

Стандартним засобом підготовки зображення для виділення ознак, є попередня обробка його за допомогою ядрової функції Гауса в якості представлення у масштабованому просторі і знаходяться ознаки на одному або декількох зображеннях, які представляються в термінах операцій локальних похідних зображення.

Іноді, коли алгоритми пошуку ознак потребують значних обчислювальних ресурсів і існують обмеження на швидкість роботи, алгоритм вищого рівня може використовуватись для управління цим етапом виділення ознак, так що пошук буде здійснюватись лише по окремих частинах зображення.

Розроблено багато різних алгоритмів виділення ознак, які різняться типом ознак, які вони виділяють, обчислюваною складністю і повторюваністю. Ці типи ознак можна умовно поділити на наступні групи: контури, кути, області, ребра.

В нашому випадку використаємо контури. Контури це набір точок, які показують межу між двома областями зображення. Контур може бути практично будь-якої форми, і може мати з'єднання і перетини. На практиці, контури визначаються як набір точок в яких зображення має явно виділену магнітуду градієнта. Крім того, деякі стандартні алгоритми пов'язують точки з високим градієнтом, щоб сформувати більш повне описання контуру. Такі алгоритми зазвичай накладають деякі умови на властивості контура, такі як форма, гладкість і значення градієнта.

Алгоритм Канні (детектор границь Канні, оператор Канні) в дисципліні комп'ютерного зору – оператор виділення границь зображення. Був розроблений Джоном Канні [89].

Основні етапи алгоритму:

1. Розмиття зображення для видалення шуму. Оператор Канні використовує розмивання Гауса з $\sigma = 1.4$:

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} * A. \quad (2.43)$$

2. Пошук градієнтів. Границі відмічають там, де градієнт набуває найбільшого значення. Вони можуть мати різні напрямки, тому алгоритм Кенні використовує чотири фільтри для визначення горизонтальних, вертикальних і діагональних ребер в розмитому зображенні.

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.44)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (2.27)$$

Кут нахилу градієнту округлюється і може набувати значень 0, 45, 90, 135.

3. Пошук локальних максимумів (Non-Maximum Suppression). Подвійна порогова фільтрація (рис 2.17).

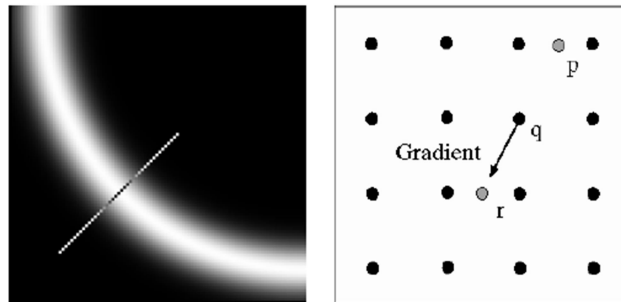


Рис. 2.17. Пошук локальних максимумів

Для перетворення вихідного зображення в зображення в градаціях сірого, необхідно отримати його «яскравість» – складову. Для цього зручно представити зображення в кольоровій моделі YUV (або HSL, HSV, інших).

Спочатку малюнок представлений в RGB моделі, причому функція завантаження повертає три компоненти у вигляді однієї матриці:

Для переводу зображення в модель YUV виконуємо наступні операції.
Отримуємо матриці, що описують компоненти моделі (R, G, B):

$$\begin{aligned}
 rRGBMatrix &:= \text{submatrix}(RGBMatrix, 0, \text{rows}(RGBMatrix) - 1, 0, \frac{\text{cols}(RGBMatrix)}{3} - 1) \\
 gRGBMatrix &:= \text{submatrix}(RGBMatrix, 0, \text{rows}(RGBMatrix) - 1, 0, \frac{\text{cols}(RGBMatrix)}{3}, \frac{\text{cols}(RGBMatrix)2}{3} - 1) \\
 bRGBMatrix &:= \text{submatrix}(RGBMatrix, 0, \text{rows}(RGBMatrix) - 1, 0, \frac{\text{cols}(RGBMatrix)2}{3}, \text{cols}(RGBMatrix) - 1)
 \end{aligned} \tag{2.45}$$

Далі розрахуємо Y-окмпоненту YUV-моделі:

$$\begin{aligned}
 ValueMatrix &:= rRGBMatrix \cdot RGB2Yuv_0 + gRGBMatrix \cdot RGB2Yuv_1 + bRGBMatrix \\
 &\quad \cdot RGB2Yuv_2
 \end{aligned} \tag{2.46}$$

За допомоги даної методики було оброблено зображення відбитку протектору шини на поверхні проїзної частини.

Наведемо код отриманого алгоритму:

```

img = imread('kkk.jpg');
grayimg = rgb2gray(img);
grayimg = imadjust(grayimg);
bw = edge(grayimg,'canny', 0.15, 2);
bw = imfill(bw,'holes');
se = strel('disk',1);
bw = imopen(bw,se);
[B,L] = bwboundaries(bw);
stats = regionprops(L,'Centroid','EquivDiameter');
figure, imshow(img)
hold on
for k = 1:length(B)
    boundary = B{k};
    radius = stats(k).EquivDiameter/2;
    xc = stats(k).Centroid(1);

```

```

yc = stats(k).Centroid(2);
theta = 0:0.01:2*pi;
Xfit = radius*cos(theta) + xc;
Yfit = radius*sin(theta) + yc;
plot(Xfit, Yfit, 'g');
text(boundary(1,2)-15,boundary(1,1)+15, num2str(radius,3),'Color','y',...
'FontSize',8);
end

```

$[B,L] = \text{bwboundaries}(bw)$ – дана функція видає два результати. B – осередковий масив розміру $P \times 1$, где P — кількість об’єктів на зображенні. Елементи масиву B – матриці розміром $Q \times 2$, де Q – кількість пікселів, що належать межі відповідного об’єкта. Строки матриці Q — координати цих граничних пікселів. L — матриця, розмір якої дорівнює розміру зображення, що містить невід’ємні числа, які відповідають замкнутим областям. Регіон з номером k на матриці L позначається елементами зі значенням k . Фонувідповідає 0.

$\text{stats} = \text{regionprops}(L, \text{'Centroid'}, \text{'EquivDiameter'})$ – ця функція створює масив структур stats , поля елементів якого Centroid та EquivDiameter містять відповідно координати центру області і (у нашому випадку) діаметр області. Далі реалізується виведення результатів (рис 2.18).

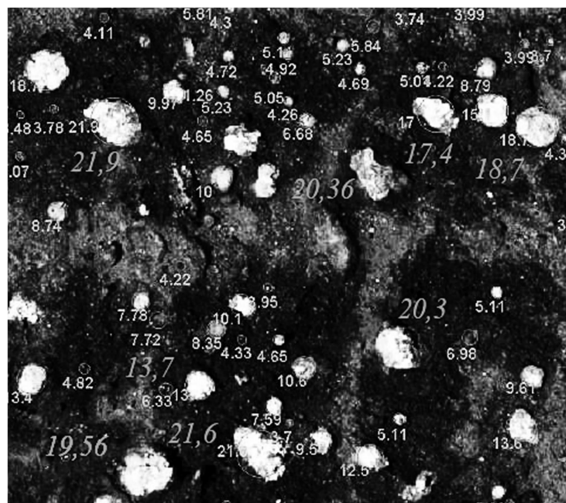


Рис. 2.18. Розраховані площі контакту шини кам’яним матеріалом

Таким чином було оброблено масив зображень розміром 10x10 см. Знайдені площі контакту дають можливість розрахувати відношення площі контакту протектору з кам'яним матеріалом до фактичної площі торкання шини з поверхнею проїзної частини (табл. 2.5)

Завдання виявлення кордонів шорсткостей на поверхні було вирішено за допомоги MATLAB Image Processing Toolbox. В MATLAB Image Processing Toolbox є набір функцій, присвячених детектуванню об'єктів і зокрема пошуку круглих форм, що дуже допомогло при створенні даного програмного продукту [88].

Таблиця 2.5

Площа контакту шини з кам'яним матеріалом

Загальна площа, пікселі	Площа контактів, пікселі	Співвідношення, %
545380	12537	43
	10716	40
	18347	54
	14726	37
	13782	55

Для порівняння параметрів, отриманих комп'ютерним моделюванням було виконано зйомку місць дотику шини автомобіля з поверхнею покриття, і кам'яним матеріалом в цілому, що дозволило з використанням методу комп'ютерного зору оцінити параметри кам'яного матеріалу та параметри шорсткості з використанням оператора Кенні та градієнтним переходом кольору на знімках поверхні.

Отримано нові експериментальні дані параметрів шорсткості за допомоги комп'ютерної обробки зображення відбитку протектору шини на поверхні дорожнього покриття, що значно спростило визначення цих параметрів для подальшого обрання методу відновлення шорсткості.

Розроблено модель поверхні дорожнього покриття з урахуванням динаміки погіршення шорсткості під впливом автотранспорту, що дозволяє оцінити не тільки стан існуючого покриття, а й спрогнозувати його стан у динаміці наступних років.

2.5 Опис розробленого програмного забезпечення

Після відкриття зображення за допомогою функції `imread`, воно переводиться у відтінки сірого. Далі збільшується його контрастність функцією `imadjust`. Межі виділяються функцією `edge`. Функція `BW = edge (I, method)` призначена для виділення меж на вихідному напівтоновому зображенні `I`. Ця функція повертає бінарне зображення `BW` такого ж розміру, як вихідне `I`. Піксель `BW (r, c)` дорівнює 1, якщо піксель `I (r, c)` належить кордоні. Для виявлення кордонів може використовуватись кілька методів. Застосовуваний метод задається в параметрі `method` у вигляді одного з наступних рядків: `'sobel'`, `'prewitt'`, `'roberts'`, `'log'`, `'zerocross'`, `'canny'`. Якщо параметр `method` при виконанні функції опущений, то за умовчанням він вважається рівним `'sobel'`.

Для кожного з методів визначення меж можна задати додаткові параметри. Для цього використовується одна з функцій `BW = edge (I, method, thresh)`, `BW = edge (I, method, thresh, P)`, де параметр `thresh` задає поріг для визначення того, чи належить піксель до кордону, а в параметрі `P` передаються настройки, специфічні для кожного з методів.

У нашому випадку був використаний метод `"canny"`.

Функція `BW = edge (I, 'canny', thresh)` використовує для визначення меж метод Канні. Це досить складний метод, що складається з великого числа етапів. Суть методу полягає в пошуку локальних ділянок з перепадами яскравості. Перепади яскравості шукаються за допомогою фільтрації по кожній з осей одновимірним фільтром лапласіан-гауссіана. У методі Канні для класифікації перепадів на «слабкі» і «сильні» використовується два

порога - нижній і верхній. «Слабкі» кордони відзначаються в результуючому зображенні, тільки якщо вони пов'язані з «сильними». Для «зашумлених» зображень даний метод забезпечує найкраще виявлення кордонів в порівнянні з іншими методами функції edge, але вимагає істотно більшого часу.

Параметр `thresh` може бути двоелементним вектором. У цьому випадку перший елемент вектора задає значення нижнього порогу, а другий елемент – значення верхньої межі. Якщо параметр `thresh` є скалярним значенням, то `thresh` задає значення верхнього порогу, а для нижнього порога використовується значення $0.4 * \text{thresh}$. Якщо параметр `thresh` при виконанні функції опущений або в якості `thresh` переданий порожній масив, то значення порогів визначаються автоматично.

У функцію `BW = edge (I, 'canny', thresh, sigma)` додатково передається параметр `sigma`, що задає середньоквадратичне відхилення розподілу Гаусса, яке використовується при формуванні маски фільтра, що виділяє перепади яскравості.

Дані параметри користувач може вказати до виконання розрахунків. Розроблена програма дає користувачеві можливість виділити кордони шорсткості, розрахувати їх радіус і площу дотику з шиною.

Порядок роботи з програмою для розрахунку площ контакту наступний:

1. Запустити `CannyEdgeDet.exe` (рис.2.19)

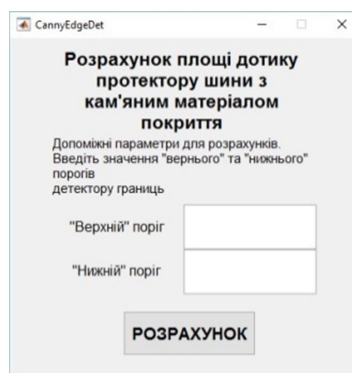


Рис. 2.19. Вікно запуску програми

2. Помістити зображення, на якому необхідно віділити границі до каталогу з файлом CannyEdgeDet.exe.
3. Вказати "верхній" та "нижній" пороги.
4. Нажати на кнопку "Розрахунок".
5. Відкрити текстовий файл "my_file.txt", в якому зберігаються усі розрахунки.

Зовнішній вигляд розрахованих окремо площ контакту, та в цілому площі контакту по ділянці 10x10 см наведено на рисунку 2.20.

```

my_file — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
||Radius is 3.78 pix || S of circle is 45.00 pix || S of area is 81.00 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 2.88 pix || S of circle is 26.00 pix || S of area is 46.80 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 3.29 pix || S of circle is 34.00 pix || S of area is 61.20 pix||
||Radius is 3.19 pix || S of circle is 32.00 pix || S of area is 57.60 pix||
||Radius is 3.39 pix || S of circle is 36.00 pix || S of area is 64.80 pix||
||Radius is 2.99 pix || S of circle is 28.00 pix || S of area is 50.40 pix||
||Radius is 7.07 pix || S of circle is 157.00 pix || S of area is 282.60 pix||
||Radius is 4.15 pix || S of circle is 54.00 pix || S of area is 97.20 pix||
||Radius is 2.99 pix || S of circle is 28.00 pix || S of area is 50.40 pix||
||Radius is 6.82 pix || S of circle is 146.00 pix || S of area is 262.80 pix||
||Radius is 3.19 pix || S of circle is 32.00 pix || S of area is 57.60 pix||
||Radius is 3.83 pix || S of circle is 46.00 pix || S of area is 82.80 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 4.51 pix || S of circle is 64.00 pix || S of area is 115.20 pix||
||Radius is 6.70 pix || S of circle is 141.00 pix || S of area is 253.80 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 3.78 pix || S of circle is 45.00 pix || S of area is 81.00 pix||
||Radius is 3.48 pix || S of circle is 38.00 pix || S of area is 68.40 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 3.14 pix || S of circle is 31.00 pix || S of area is 55.80 pix||
||Radius is 5.44 pix || S of circle is 93.00 pix || S of area is 167.40 pix||
||Radius is 3.99 pix || S of circle is 50.00 pix || S of area is 90.00 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 3.87 pix || S of circle is 47.00 pix || S of area is 84.60 pix||
Sum of circle is 17411.00, Sum of area is 31339.80

```

Рис. 2.20. Файл результатів розрахунку площ контакту шини з кам'яним матеріалом

Таким чином, отримано автоматизований процес визначення такого параметру шорсткості як площа контакту шини з кам'яним матеріалом. Експериментальні дані параметрів шорсткості на поверхні дорожнього покриття значно спростили обрання методу відновлення шорсткості. Модель поверхні дорожнього покриття з урахуванням динаміки погіршення шорсткості під впливом автотранспорту, дозволяє оцінити стан існуючого покриття та спрогнозувати його стан у динаміці наступних років.

2.6 Висновки за розділом

1. Отримано нові експериментальні дані параметрів шорсткості за допомоги комп'ютерної обробки зображення відбитку протектору шини на поверхні дорожнього покриття.

2. Обґрунтовано параметри шорсткості поверхні автомобільної дороги, та з урахуванням цього обрано оптимальну фракцію щебню для побудови шорсткого тонкошарового цементного покриття.

3. Розроблено методику обробки зображень за методом комп'ютерного зору. Розроблено модель поверхні дорожнього покриття з урахуванням динаміки погіршення шорсткості під впливом автотранспорту та отримано автоматизований процес визначення такого параметру шорсткості як площа контакту шини з кам'яним матеріалом.

4. Експериментальні дані параметрів шорсткості на поверхні дорожнього покриття значно спростили обрання методу відновлення шорсткості. Модель поверхні дорожнього покриття з урахуванням динаміки погіршення шорсткості під впливом автотранспорту, дозволяє оцінити стан існуючого покриття та спрогнозувати його стан у динаміці наступних років.

РОЗДІЛ 3.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦЕМЕНТНОЇ СУМІШІ ДЛЯ ШОРСТКОГО ТОНКОШАРОВОГО ЦЕМЕНТНОГО ПОКРИТТЯ

3.1. Передумови обрання цементної суміші як матеріалу тонкошарового покриття автомобільної дороги

Забезпечення безпеки та комфорту для всіх учасників дорожнього руху, підтримання покриття в належному стані, забезпечення міцності, рівності та зчепних якостей є невід'ємною задачею дорожніх організацій. В сучасному дорожньо-будівельному виробництві спостерігається тенденція щодо використання нових економічних технологій покращення стану покриття, які забезпечать збільшення міжремонтних строків, надійність дорожнього одягу, зносостійкість та підвищення безпеки руху транспортних засобів. Існує практика обрання жорстких бетонних покриттів для доріг з високою інтенсивністю, оскільки вони забезпечують високу міцність та довговічність. Проте, не дивлячись на невід'ємні плюси таких покриттів не можна не звернути увагу на те, що сучасні європейські вимоги генерації шуму та комфорту руху мають на увазі обмежену макрошорсткість, що може привести до низького опору ковзанню. Простіше кажучи, такі покриття не задовольняють вимогам зчеплення колеса з покриттям, особливо в динаміці експлуатації такої автомобільної дороги. Вважається, що досягнення довговічності верхніх шарів дорожнього покриття асфальтобетонних доріг та підтримання їх технічних характеристик протягом довгого періоду є важкою задачею [90, 91].

Це доводять численні дослідження, що виконуються у даній області, та постійний пошук нових технологій та сумішей для ремонту покриття. Тонкошарове покриття, що наноситься на асфальтобетон повинно

забезпечувати рівність, міцність, закривати дрібні тріщини, та забезпечувати необхідний коефіцієнт зчеплення протягом всього строку експлуатації.

Саме такі характеристики має тонкошарове покриття з цементного суміші, що наноситься на поверхню асфальтобетонного покриття. Це покриття представляє собою тонкий шар цементної суміші, що складається з портландцементу, піску, армуючих волокон (фібри), води, пластифікаторів та нанесеного зверху щебеневого матеріалу, що забезпечить необхідний коефіцієнт зчеплення.

Бетонне покриття повинно витримувати багатократні циклічні транспортні навантаження, чинити опір напруженням які виникають в дорожній плиті від зміни температури і вологості та від систематичного замерзання та відтавання води в порах і капілярах бетону в осінньо-зимовий період, витримувати напруження, викликані деформаціями плит внаслідок морозного пучиноутворення ґрунтової основи.

Ці властивості бетонного покриття залежать в основному від складу і структури цементного каменю, які повинні забезпечувати поряд з необхідними характеристиками міцності і деформативності дорожнього бетону високі показники його тріщиностійкості, корозійності, водо- і морозостійкості.

Поряд з введенням добавок і створенням так званих композиційних цементів ці властивості покращуються за рахунок дисперсного армування тобто введення в цементобетон різних типів волокон.

Проведений аналітичний огляд свідчить, що введення в цементобетонні суміші відрізків сталеві проволоки, скляних, азбестових, нейлонових, поліамідних і інших волокон підвищує тріщиностійкість, опір втомленості і удару, міцність на згин і зсувостійкість дорожніх покриттів з використанням цих матеріалів.

3.2 Застосування фібри різного типу в цементобетонних сумішах

Як відомо, цементобетон має міцність на розрив при вигині практично на порядок нижче міцності при стисненні. Дисперсне армування і армування безперервною волокнистою арматурою змінює поведінку цементного каменю та інших видів штучних каменів, надаючи йому підвищену стійкість до розтріскування на вигин і до розривних навантажень, дозволяє створити необхідний запас міцності, зберігаючи цілісність конструкції, навіть після появи наскрізних тріщин .

В результаті введення армованих волокон в цементобетонну суміш отримується так званий фібробетон, що має підвищену тріщиностійкість, міцність на розтяг, ударну в'язкість, опір стиранню.

Для армування цементобетону застосовують різноманітні металеві і неметалеві волокна (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд фібри для бетону

В останні три десятиріччя розпочалося широке застосування сталевіфробетону. Кращі якості сталевіфробетону полягають в підвищеному опорі розтягу і високій стійкості до руйнування, оскільки фібри створюють ефективний опір розкриттю тріщин (опір в остовому для фібри напрямку). У якості фібр зазвичай застосовують тонкий дрiт діаметром $0,1\pm 0,5$ мм, нарублений на відрізки 10-50 мм. За даними Ю.М.Баженова кращі результати забезпечують фібри діаметром 0,3 мм і довжиною 25 мм [92].

У роботі [93] приводяться результати досліджень сталевіфробетону з аморфною фіброю з підвищеною корозійною стійкістю. Зменшення діаметру

фібри до 0,1 мм призводить до збільшення опору відриву, тобто деформування відбувається по механізму накопичення ушкоджень із поступовим зниженням опору, чуттєвості до концентрації напруг тощо. Для сталевібробетона через небезпеку корозії звичайної не анодованої фібри граничне навантаження близьке до межі тріщиностійкості. Навпроти, для сталевібробетону з аморфною фіброю такої небезпеки немає. Крім того використання сталевібробетону з аморфною фіброю збільшує несучу спроможність елементів конструкції у 1,5 рази і підвищує термін їхньої служби, у порівнянні зі сталевібробетоном із звичайними сталевими фібрами. Застосування сталевібробетону в покритті доріг знижує матеріалоемність на 40 %, вартість – на 14,4 % [94].

Слід зазначити, що на сьогоднішній день розроблені різноманітні засоби регулювання властивостей сталевібробетону. Відомо, що одержати необхідні характеристики сталевібробетону можна шляхом вибору оптимального об'ємного розподілу фібри, відношенням довжини фібри до діаметру і визначенням оптимального діаметру фібри. Крім цього для отримання якісного цементобетону необхідно враховувати марку й активність цементу, його фізико-хімічні характеристики, кількість та характеристики заповнювача і насамперед його зерновий склад і крупність. З неметалевих волокон можуть застосовуватись скляні, базальтові та інші (рис. 3.2).

Скляні волокна зазвичай мають діаметр близько декількох десятків мікрометрів і довжину 20-40 мм. Вони мають високу міцність на розтяг (1500-3000 МПа) і модуль деформації вищий, ніж у цементного каменю. Температурний коефіцієнт лінійного розширення скловолокна близький до коефіцієнту цементного каменю. Проте скло швидко руйнується під дією лужного середовища цементу, тому необхідно передбачити застосування спеціальних заходів, що охороняють руйнування скляних волокон у бетоні від корозії. До цих заходів можна віднести використання в бетоні глиноземистого цементу, різноманітних добавок в бетоні, що зв'язують луки,

пропитку бетону полімером. Так у роботі [95] підкреслюється, що широке виробниче використання сталевібробетона стримувалось відсутністю скловолокна, стійкого до лужного середовища портландцементу.



Рис. 3.2 – Фібра базальтова

У іншій роботі [96] наведені різноманітні види скловолокна, що відрізняються по хімічному складу. Підкреслюється, що найбільше розповсюдження одержало виробництво трьох типів скляних волокон: тип Е – волокна безлужні, що мають недостатню стійкість до кислих середовищ (застосовуються в США, Франції, Англії, Німеччині й ін.); тип С – волокна мало лужні з підвищеною стійкістю і тип А – волокна лужні з високою хімічною стійкістю (типи С і А застосовуються в основному в США і Росії). Підкреслюється, що технологічна простота влаштування зовнішнього двогілкового склопластикового армування робить дуже ефективним його використанням при посиленні конструкцій (плит, оболонок і т.д.), особливо при наявності агресивних середовищ.

У роботі [97] приводиться спеціальна методика дослідження довговічності склофібробетона і зміна його фізико-механічних властивостей у часі. Ця методика була застосована в роботі [98] при дослідженні згину склофібробетонних складчастих елементів при тривалій дії навантаження. Згин елементів із склофібробетону за деформаціями при тривалій дії навантажень розраховують виходячи із умови їх роботи без тріщин, тому що з часом міцність такого елемента знижується на 10 ÷ 30 % у залежності від відносної вологості навколишнього середовища. Підвищення об'ємного вмісту скловолокна > 1,5 % викликає збільшення деформацій повзучості в

стиснутій зоні і збільшення прогинів елемента, а в розтягнутій зоні – більш повільний розвиток деформацій повзучості.

В останні роки почались окремі дослідження щодо використання базальтових волокон. Вихідними матеріалами для базальтових волокон служать гірські породи – базальти, що являють собою дрібнозернисті ефузивні породи вулканічного походження. Базальтове волокно одержують шляхом плавлення базальтової дрібниці і витягування волокна з отриманого розплаву. Міцність базальтового волокна діаметром 16, 12, і 8 мкм складає відповідно 1500 і 2600 МПа, а щільність – $2,8 \div 3,3 \text{ г/см}^3$. Дослідження властивостей базальтових волокон показали їхню хімічну стійкість до кислот і луг [99]. Доцільність використання базальтофібробетону при влаштуванні аеродромних і дорожніх покриттів підвищеної надійності і стійкості до високих навантажень при експлуатації, доведена Д.В.Кураковим [100].

Дослідженням армуванню бетонних плит синтетичними фібрами присвячено роботу [101]. Тут приведені заключні висновки по досвіду застосування фібробетону із синтетичних фібр, незначна кількість яких у складі бетону підвищує опір тріщиноутворенню при усадці бетону. Застосування синтетичних фібр у бетонних плитах збільшує термін їх експлуатації.

Останнім часом широко використовуються комбінації різноманітних волокон. Наприклад металевих і полімерних, металевих і базальтових і т.д. Так у роботі [102] дається стислий огляд досліджень по армуванню цементних розчинів за допомогою комбінацій з мінеральною ватою. Взагалі введення волокон – важлива операція, тому що бетонна суміш із фібрами схильна до грудкування і фібри можуть утворювати в бетонній суміші “їжаки” (комки), що різко погіршує якість і не дозволяє досягти належного ущільнення матеріалу у виробі. Враховуючі таке явище для приготування суміші використовують різноманітні способи: вводять фібру в останню чергу в попередньо перемішану суміш цементу, води і заповнювача, або змішують спочатку заповнювач і волокно, а потім додають цемент і воду.

Види волокон, які є в Україні та їхні фізико механічні характеристики наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Види фібрових волокон та їхні харатеристики

Матеріал волокон (фібр)	Фізико-механічні властивості волокон (фібр)				
	Щільність, кг/м ³ ×10 ³	Модуль пружності, МПа	Міцність на розрив, МПа	Деформація при розриві, %	Довжина, мм
Сталь	7,0	200	1-3	3-4	4-5
Скловолокно (лужностійке)	2,6	80	2,4	2-3,5	4-5
Базальт грубі, товщиною 0.017 мм	4,4	900	4,5	2,1	4-5
тонкі (голки), товщиною 0,009 мм	3,6	600	3,8	1,9	4-5
Поліпропілен	0,9	5,0	2,6	1	4-5
Поліамід	1,5	133,0	2,9	2,6	

За даними таблиці 3.1 видно, що найбільші міцність на розрив та модуль пружності мають базальтові волокна. Враховуючи те, що базальт має й інші позитивні фізико-механічні властивості – хімічну стійкість, морозостійкість, стійкість до агресивних середовищ – луг і кислот, а його волокна, введені у бетонні вироби, мають властивість обмежувати розповсюдження тріщин в бетоні, цей матеріал був прийнятий для подальших досліджень.

Властивості інших складових суміші, тобто гранітного щебеню, цементу повинні відповідати вимогам діючих нормативних документів.

Структура цементобетону, армованого базальтовою фіброю, близька до структури, армоцементу з арматурою зі сталеві сітки. Однак базальтова фібра має більш високу міцністю і стійкостю до деформацій, тому що використання її забезпечує більш високу ступінь дисперсності армування

бетонного каменю і сам базальтовий матеріал має вищу, ніж сталева сітка, міцність.

Таблиця 3.2

Властивості бетонної суміші з 1% сталевих фібр - 1 % базальтових – фібр та вихідної неармованої суміші.

Найменування показників	Неармована суміш	1% сталевих фібр	1% базальтових фібр
Осадка, см	16,0	14,0	11,5
Вміст порожот, %	6,3	5,8	4,2
Міцність на стиск, МПа	138	172	210
Міцність на згин	24,9	23,5	28,5
Модуль пружності, МПа	-	42,5	48,5

Крім того, базальтова фібра може переносити великі пружні деформації тому, що базальтове волокно при розтягуванні не піддається пластичній деформації, а по пружності перевершує сталь. Відмінною особливістю базальтової фібри є її висока адгезія з цементної матрицею. Проведені дослідження [102] показали, що область контакту характеризується щільним зіткненням поверхонь і відсутністю тріщин і зазорів.

Зовнішній вигляд базальтового мікротонкого волокна наведений на рис.3.3.

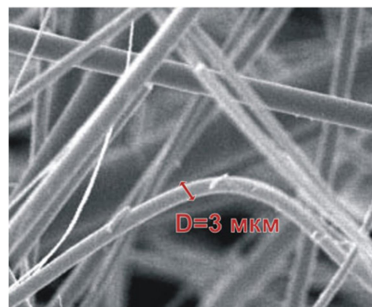


Рис.3.3. Структура мікротонкого базальтового волокна.

Фібра базальтова, являє собою високоякісне мікротонке волокно отримане шляхом розплаву базальтової гірської породи при температурі 1600-1650⁰С і послідууючого витягування у волокно.

Хімічний склад базальтової гірської породи, з якої було вироблено мікротонке волокно, наведений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Хімічний склад базальтової гірської породи

Найменування оксиду	Кількість вмісту у волокні, %
SiO ₂	46,5 – 51,5
Al ₂ O ₃	15,0 – 19,0
MgO	4,0 – 10,5
CaO	7,5 – 11,5
FeO+Fe ₂ O ₃	8,0 – 12,0
K ₂ O+Na ₂ O	3,0 – 6,0
TiO ₂	0,3 – 2,5
Cr ₂ O ₃	0,02 – 0,05
MnO	< 0,1
інші	до 100

Для отримання базальтової фібри оптимальної довжини тобто 4–5 мм волокна подрібнюються на струминно-вихровому млині. Особливістю даного виду помолу є низькі енергетичні витрати і висока продуктивність. На виготовлення 1 тонни базальтової фібри витрачається до 15 кВт електроенергії, а селективність відбору часток з розміром 4-5 мм, складає 85-90 %. Конструкція млину дає можливість керувати розміром базальтової фібри шляхом зміни параметрів помолу [102].

Фізико-механічні властивості базальтового волокна наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Фізико-механічні властивості базальтового волокна

Найменування показників	Фізико-механічні властивості	
	базальтове волокно	Скляне волокно
Середній діаметр волокна, мкм	160,0	200,0
Кількість не волокнистих домішок, %	2 – 3	до 5
Щільність, г/см ³	2,65	2,35
Температурний інтервал застосування, °С	-269 – +700	-60 – +400
Водостійкість, %	99,6	99,1
Хімічна стійкість, %		
0,5Н NaOH	93,4	90,3
2Н NaOH	77,3	47,7
2Н H ₂ SO ₄	98,5	72,5
Гігроскопічність, %	до 1,0	10 – 15
Механічна міцність, МПа	4100	2900
Модуль пружності, МПа	120	64
Подовження при розриві, %	3,1	2,8

Результати дослідження базальтового волокна різного діаметру щодо міцності на розтяг приведено на рисунку 3.4. З графіку видно, що зі збільшенням діаметру відбувається втрата міцності волокон, а оптимальним є волокно з діаметром 8 мкм.

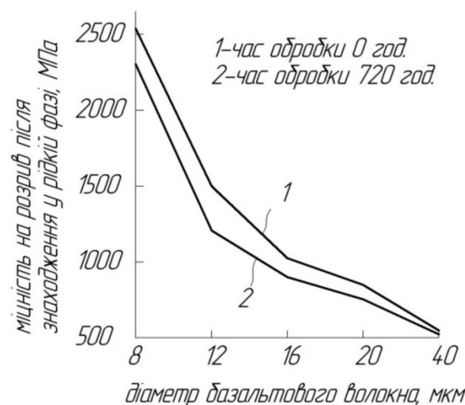


Рисунок 3.4 – Графік залежності міцності на розрив базальтового волюка від його діаметру

З вищевказаних причин є доцільним в цементної суміші використати саме базальтову фібру. До того ж в дорожній практиці України дисперсно-

армований базальтовими волокнами цементобетон – базальтофібробетон ще не знайшов свого розповсюдження.

Проведені лабораторні дослідження по визначенню можливості використання базальтової фібри для дисперсного (хаотичного) армування цементної суміші показали, що матеріал може бути застосований як армуюча добавка і це призведе до покращення фізико-механічних властивостей дисперсно-армованих матеріалів. Введення базальтової фібри до цементної суміші дозволяє покращити фізико-механічні характеристики (збільшення міцності на стиск на 20 %, міцності на розтяг при згині на 20 % – 25 %, морозостійкості і водостійкості на 15 – 20 %). Технологія введення практично не впливає на фізико-механічні показники цементної суміші.

3.3 Проведення лабораторних досліджень щодо визначення фізико-механічних властивостей цементної суміші

Виконані дослідження було поділено на декілька етапів:

1. Збір інформації про можливість улаштування жорсткого цементобетонного тонкошарового покриття на нежорстку основу покриття на нежорстку основу, якою служить існуюче асфальтобетонне покриття;
2. Вибір складових компонентів цементобетонного покриття, тобто фібри, кам'яного матеріалу і безпосередньо визначення оптимального складу цементобетонної суміші;
3. Проведення лабораторних досліджень щодо визначення фізико-механічних властивостей підібраної бетонної суміші;
4. Розробка технології нанесення на існуюче асфальтобетонне покриття.

Розробки в галузі в'язучих речовин за останнє десятиріччя свідчать, що поряд з традиційним портландцементом зростає роль композиційних

цементних матеріалів які в своєму складі поєднують портландцементи і різні добавки.

Підбір складу цементобетонної суміші полягає в тому, щоб для прийнятих матеріалів відповідно до призначення цементобетону, місцевими умовами і економічними міркуваннями встановити витрати в'язучого, води і заповнювачів і зерновий склад останніх, що забезпечують необхідні об'ємна вага і міцність цементобетону при найменшій його вартості.

Підбір складу ґрунтується на методі пробних замішувань суміші, з кожної проби якої виготовляється і випробовується серія зразків. Оптимальним складом суміші легкого бетону вважається той, який забезпечує необхідну міцність при мінімальних об'ємній вазі і витраті цементу [103].

Розрахунок проводиться при наступних вихідних даних:

- об'ємна вага і міцність цементобетону задані, відомі умови застосування цементобетону і умови його виготовлення (точніше, умови механізації виготовлення суміші, її транспортування, формування, ущільнення і термообробки);

- є контрольні результати лабораторних випробувань використовуваних пористих заповнювачів, проведені за вимогами відповідних ДСТУ;

- відомі характеристики використовуваних в'язучих і добавок (для цементів за паспортними даними).

В даній роботі такими добавками є волокна, які хаотично розподілені в цементній суміші, використовуються як армуючі добавки і створюють дисперсно армовані суміші.

Склад цементної суміші був визначений за результатами встановлення оптимальної кількості дисперсно армуючих добавок.

Дисперсно армуючі добавки вводились безпосередньо до цементу, перемішувались, і до композиційного цементу додавались остальні складові компоненти бетонної суміші.

Для підбору суміші використовували цемент цементно-помольного заводу "Київ-Ресурс" марки 400 з такими характеристиками : нормальна густина цементної суміші – 26,0%; терміни тужавіння цементної суміші – початок 2 год.20 хв; кінець – 4 год. 25 хв.; пісок з модулем крупності 2,2% , і оптимальною вологістю 9%; вода для затворіння цементу.

Оптимальний склад цементної суміші наступний:

1) з додаванням грубого базальтового волокна ГБВ;

- цемент – 13,0 кг;
- волокна ГБВ – 0,21 кг;
- пісок – 36,0кг;
- вода – 8,01 л.

2) з додаванням тонкого базальтового волокна

- цемент – 13 кг;
- волокна базальтові – 0,33 кг;
- пісок – 37,5 кг;
- вода – 8,5 л.

Перемішування цементобетонної суміші з додаванням базальтової фібри здійснювалось в змішувачі гравітаційного принципу дії. Ущільнення суміші проводилось в стандартних формах на лабораторному вібростолі з частотою коливання 3000 коливань за хвилину (рис 3.5.).



Рис. 3.5. Лабораторний вібростіл

Фізико-механічні властивості визначались після твердіння зразків протягом 7, 14 та 28 діб.

Фізико-механічні властивості бетонів визначалися шляхом випробувань зразків кубів $10 \times 10 \times 10$ см та зразків балок розміром $10 \times 10 \times 40$ см у віці 7 діб та 28 діб після твердіння в нормальних умовах згідно [103] (рис. 3.6.).

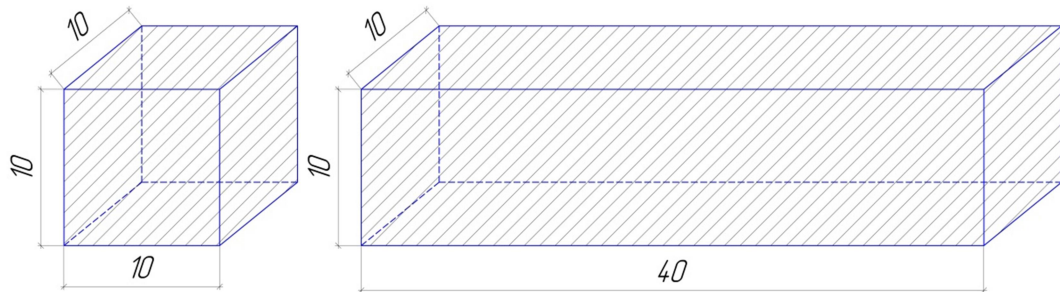


Рис. 3.6. Кубічний та прямокутний зразки з цементної суміші

Були застосовані найбільш поширені технології введення базальтової фібри в бетонну суміш.

Перша: фібри вводяться в попередньо перемішану суміш цементу, води і заповнювачів в останню чергу. Друга: змішуються спочатку всі сухі компоненти, а потім додається вода і пластифікуюча домішка.

Дослідження цементної суміші проводились з визначення міцності на розтяг при згині ($R_{зг}$) (рис. 3.7.) та міцності на стиск ($R_{ст}$) (рис 3.8.).

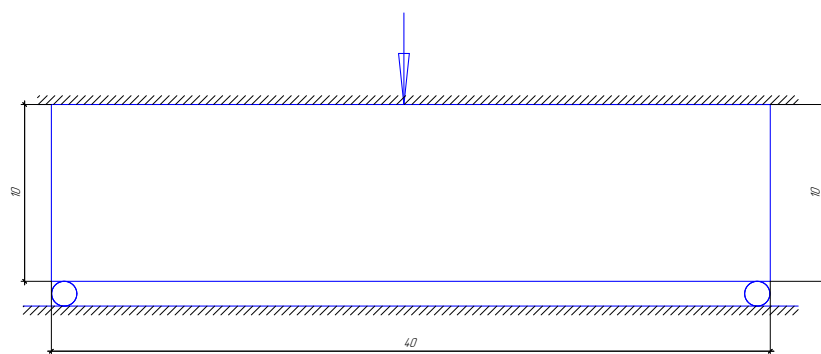


Рис. 3.7. Схема випробування балочних зразків вигин R_{bt}

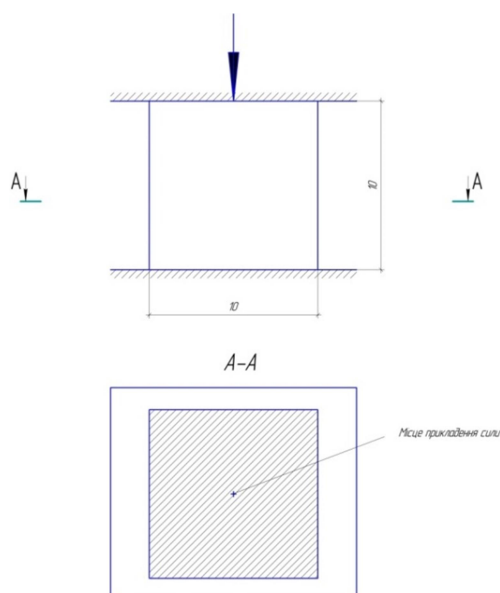


Рис. 3.8. Схема випробування кубічних зразків на міцність R_b

Для визначення міцності на стиск були заформовані зразки-куби $10 \times 10 \times 10$ см міцності на розтяг при згині зразки-балки $10 \times 10 \times 40$ см.

Результати досліджень наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Результати випробування міцності зразків

№ п/п	Найменування зразків бетону	Кількість фібри, % від маси бетону	Міцність на стиск, МПа, у віці			Міцність на розтяг при згині, МПа, у віці		
			7 діб	14 діб	28 діб	7 діб	14 діб	28 діб
Перша технологія								
1	Контрольні	-	14,8	15,5	22,4	4,0	4,3	5,9
2	З базальтовою фіброю	2,0	18,8	19,1	28,3	6,1	6,7	9,1
3	З базальтовою фіброю	4,0	15,8	16,4	23,2	4,5	5,1	7,2
Друга технологія								
4	Контрольні	-	14,9	15,4	22,2	4,1	4,5	5,9
5	З базальтовою фіброю	2,0	18,9	19,8	28,4	5,7	6,9	9,2
6	З базальтовою фіброю	4,0	15,6	16,1	23,3	4,7	5,0	7,1

Аналізуючи дані таблиці 3.5 можна зробити висновок, що зразки з двома процентами фібр мають більшу міцність на стиск та на розтяг при згині ніж контрольні зразки та зразки з фібрами у кількості 4 %. Тобто 2,0 % є оптимальною кількістю додавання базальтової фібри у бетонну суміш (рис. 3.9., 3.10.).

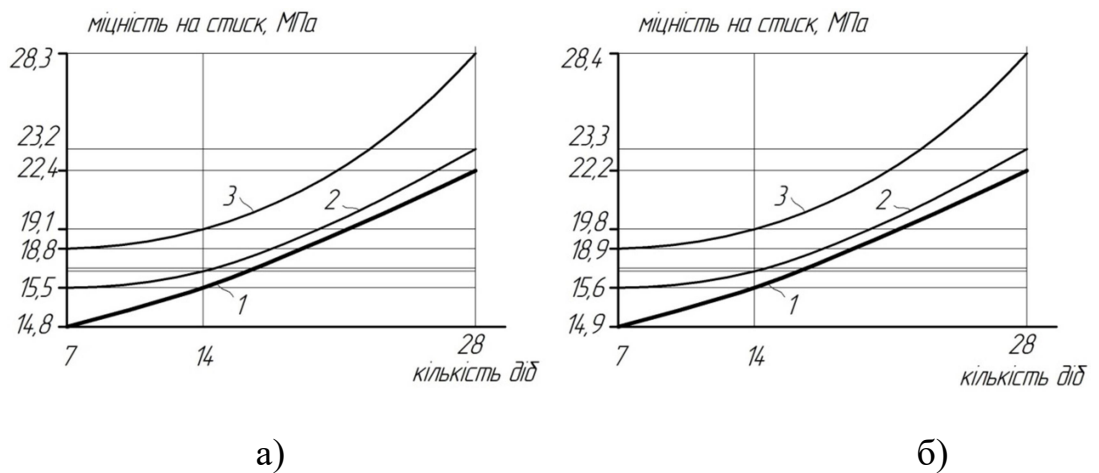


Рис. 3.9. Міцність на стиск за першою (а) та другою (б) технологіями:

1 – контрольні зразки, 2 – 4 % базальтової фібри, 3 – 2 % базальтової фібри

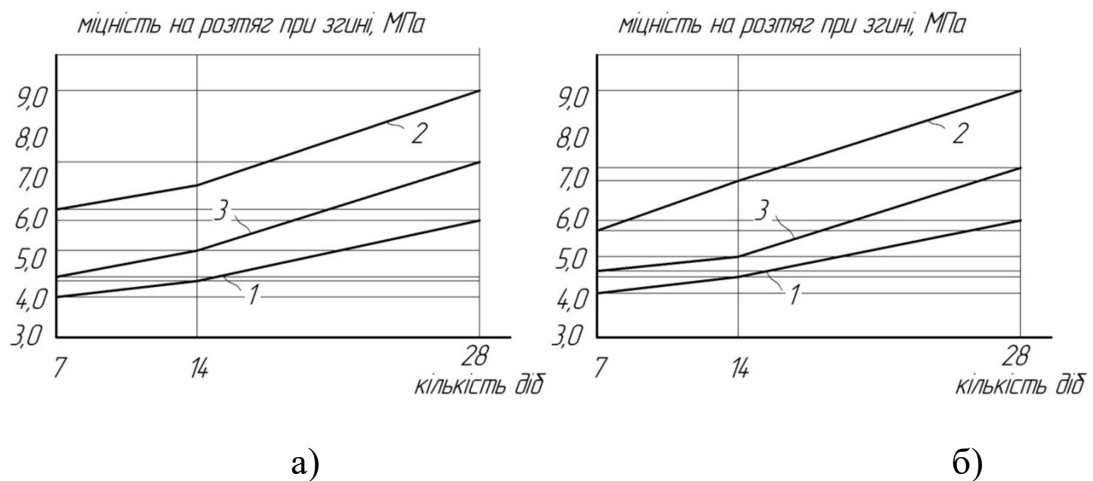


Рис. 3.10. Міцність на розтяг при згині за першою (а) та другою (б) технологіями: 1 – контрольні зразки, 2 – 4 % базальтової фібри, 3 – 2 % базальтової фібри

Як видно з рисунку 3.9, технологія введення фібри практично не впливає на показники міцності, але подальші дослідження цементобетонної суміші з базальтовою фіброю проводились з використанням двох наведених технологій.

Фізико-механічні властивості цементобетону з додаванням базальтової фібри наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Фізико-механічні властивості зразків

№ п/п	Найменування зразків бетону	Кількість фібри, % від маси бетону	Коефіцієнт морозостійкості після кількості циклів			Водонепроникливість, МПа	Водопоглинання, %
			100	200	300		
Перша технологія							
1	Контрольний	-	0,840	0,760	0,710	4,8	5,3
2	З базальтовою фіброю	2,0	0,960	0,910	0,830	8,0	2,1
3	З базальтовою фіброю	4,0	0,901	0,860	0,792	8,0	2,3
Друга технологія							
4	Контрольний	-	0,850	0,750	0,680	4,3	5,5
5	З базальтовою фіброю	2,0	0,980	0,880	0,840	7,5	2,4
6	З базальтовою фіброю	4,0	0,890	0,840	0,790	7,0	2,7

Також, слід зазначити, що зразки досліджувались на морозостійкість 100, 200, 300 циклів заморожування та відтаювання у 5 % розчині NaCl.

Аналізуючи дані таблиці 3.6 та рисунку 3.10 очевидно, що введення базальтової фібри покращує якість та довговічність цементобетону. За рахунок формування щільної, міцної структури бетону зменшуються показники водопоглинання, підвищуються показники водонепроникливості та морозостійкості.

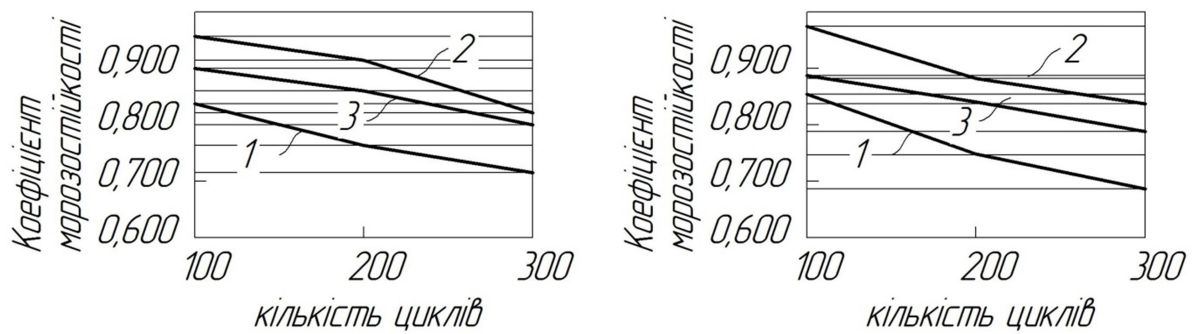


Рис. 3.9. Результати випробування зразків на морозостійкість

Зразки герметизували і ізолювали з усіх сторін, крім зовнішньої поверхні, яка буде випробуватись. 3 % розчин NaCl товщиною 3 мм уклали на мерзлу поверхню і установлювали в холодильну установку де зразки витримувались при температурі від +20^oC до -20^oC і знов до +20^oC на протязі 24 годин. Циклів заморожування відтаювання взагалі було 112. Випробування показали, що відшарування немає, тобто матеріал є морозостійким і ризику викришування щебінок не існує.

Аналізуючи дані проведених досліджень видно, що значення морозостійкості вище у складів з додаванням базальтових волокон і збільшуються із збільшенням циклів заморожування відтаювання ніж у складів з введенням металевих фібр. Оптимальна кількість волокон – 2 % [104].

Таким чином, розроблено суміш для шорсткого тонкошарового цементного покриття, з урахуванням параметрів шорсткості покриття автомобільної дороги та експериментально підтверджено оптимальний склад суміші, визначено фізико-механічні характеристики суміші, які задовольняють вимогам діючих норм. Підібраний склад цементної суміші можна рекомендувати для дослідного впровадження в виробничих умовах в усіх дорожньо-кліматичних зонах на автомобільних дорогах України [105].

3.4 Проведення лабораторних досліджень щодо визначення фізико-механічних властивостей цементної суміші з використанням базальтової фібри нанесеного на асфальтобетонні зразки

Після проведення лабораторних досліджень щодо визначення фізико-механічних властивостей цементобетону з додаванням базальтової фібри та визначення міцності на стиск та розтяг необхідно отримати результати поведінки цементної суміші нанесеної на асфальтобетон. Тобто в лабораторних умовах створити ситуацію максимально наближену до реальності. Оскільки планується нанесення шару цементної суміші товщиною 2 см на поверхню автомобільної дороги необхідно на асфальтобетонні зразки нанести цементну суміш. З існуючого покриття автомобільної дороги було вирізано зразки асфальтобетону розміром 8x10x10 для дослідження межі міцності на стиск, та 8x10x40 для дослідження межі міцності на розтяг. Далі цементну суміш з 2% базальтової фібри було нанесено на асфальтобетонні зразки. Таким чином було отримано типові зразки 10x10x10 см для визначення міцності на стиск та 10x10x40 для визначення межі міцності на розтяг.

Фізико-механічні властивості бетонів визначалися шляхом випробувань зразків кубів 10×10×10 см та зразків балок розміром 10×10×40 см, які склалися з шару асфальтобетону товщиною 8 см та шару цементної суміші товщиною 2 см, у віці 7 днів та 28 днів після твердіння в нормальних умовах згідно ГОСТ 10180-90 (рис. 3.10).

Для визначення міцності на стиск були вирізані зразки асфальтобетону розмірами 8×10×10 см та нанесено на їхню поверхню цементну суміш товщиною 2 см, таким чином було отримано зразки-куби 10×10×10 см.

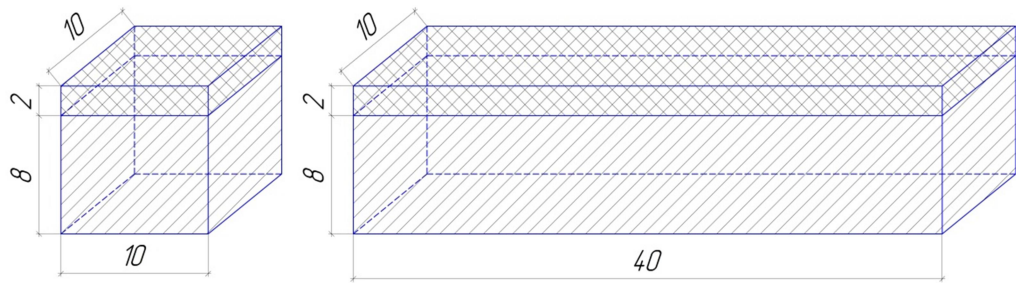


Рис.3.10. Кубічний та прямокутний зразки з цементної суміші

Для визначення міцності на розтяг при згині було вирізано зразки-балки 8×10×40 см та також нанесено 2 см шару цементної суміші, таким чином як це буде виконуватись на автомобільній дорозі. Результати досліджень наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Результати дослідження міцності зразків з нанесеним шаром цементної суміші

№ п/п	Найменування зразків бетону	Кількість фібри, % від маси бетону	Міцність на стиск, МПа, у віці			Міцність на розтяг при згині, МПа, у віці		
			7 діб	14 діб	28 діб	7 діб	14 діб	28 діб
Перша технологія								
1	З базальтовою фіброю	2,0	18,8	19,1	28,3	6,1	6,7	9,1
Друга технологія								
2	З базальтовою фіброю	2,0	18,9	19,8	28,4	5,7	6,9	9,2

Аналізуючи дані таблиці 3.8 можна зробити висновок, що зразки асфальтобетону з нанесеною на них цементною сумішшю мають більшу міцність на стиск ніж зразки виготовлені виключно з цементної суміші. Відбувається невелике збільшення міцності на розтяг, оскільки асфальтобетон є більш пружним ніж цементна суміш, але введення

базальтової фібри та пластифікуючої домішки забезпечує необхідну міцність на згин.

Наступним кроком є визначення шорсткості отриманого цементного покриття. Для цього були використані прямокутні зразки. Загальний вигляд цементного покриття наведений на рис. 3.11.



Рис. 3.11. Вигляд поверхні зразка

Визначення шорсткості проводилось на дослідному зразку покриття в лабораторних умовах за допомогою маятникового приладу МП-3. Результати досліджень наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Визначення шорсткості поверхні цементної суміші з щебенем

Найменування показника	Покриття з цементної суміші		Цементобетонне покриття		Дрібнозернистий асфальтобетон, тип «Б»	
	Суха поверхня	Мокра поверхня	Суха поверхня	Мокра поверхня	Суха поверхня	Мокра поверхня
Коефіцієнт зчеплення згідно ДСТУ 3587, п.3.15 більше 0,30	0,57	0,5	0,40	0,37	0,50	0,49

Проведені дослідження фізико-механічних характеристик зразків асфальтобетону, з нанесеною на них цементною сумішшю показали, що ці зразки мають показники міцності на стиск на 5-8% більше ніж зразки з

цементної суміші, відбувається невелике збільшення міцності на розтяг, оскільки асфальтобетон є більш пружним ніж цементна суміш, але введення базальтової фібри та пластифікуючої домішки забезпечує необхідну міцність на згин.

За результатами досліджень коефіцієнту зчеплення на зразках довжиною 40 см очевидно, що покриття з цементної суміші має значення коефіцієнта зчеплення, яке вище ніж у традиційних покриттів на 12 – 18 %.

В результаті введення армованих волокон в цементобетонну суміш отримується так званий фібробетон, що має підвищену тріщиностійкість, міцність на розтяг, ударну в'язкість, опір стиранню.

Структура бетону, армованого базальтовою фіброю, близька до структури, армоцементу з арматурою зі сталеві сітки. Однак базальтова фібра має більш високу міцністю і стійкусть до деформацій, тому що використання її забезпечує більш високу ступінь дисперсності армування бетонного каменю і сам базальтовий матеріал має вищу, ніж сталева сітка, міцність. Крім того, базальтова фібра може переносити великі пружні деформації тому, що базальтове волокно при розтягуванні не піддається пластичній деформації, а по пружності перевершує сталь. Відмінною особливістю базальтової фібри є її висока адгезія з цементної матрицею.

Таким чином, проведені лабораторні дослідження по визначенню можливості використання базальтової фібри для дисперсного (хаотичного) армування цементної суміші показали, що матеріал може бути застосований як армуюча добавка і це призведе до покращення фізико-механічних властивостей дисперсно-армованих матеріалів. Введення базальтової фібри до бетонної суміші дозволяє покращити фізико-механічні характеристики (збільшення міцності на стиск на 20 %, міцності на розтяг при згині на 20 % – 25 %, морозостійкості і водостійкості на 15 – 20 %).

3.5 Висновки за розділом

1. Покриття з цементної суміші – це новий перспективний тип покриття для підвищення довговічності і шорсткості існуючого верхнього асфальтобетонного шару.

2. Проведені лабораторні дослідження по визначенню можливості використання базальтової фібри для дисперсного (хаотичного) армування цементної суміші показали, що матеріал може бути застосований як армуюча добавка і це призведе до покращення фізико-механічних властивостей дисперсно-армованих матеріалів. Введення базальтової фібри до бетонної суміші дозволяє покращити фізико-механічні характеристики (збільшення міцності на стиск на 20 %, міцності на розтяг при згині на 20 % – 25 %, морозостійкості і водостійкості на 15 – 20 %).

3. Проведеними дослідженнями встановлена оптимальна кількість введення фібри, яка складає для цементної суміші 2,0 % від маси суміші. Технологія введення практично не впливає на фізико-механічні показники бетонної суміші.

4. Покриття з цементної суміші має значення коефіцієнта зчеплення, яке вище ніж у традиційних покриттів на 12 – 18 %.

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ШОРСТОКОГО ТОНКОШАРОВОГО ЦЕМЕНТНОГО ПОКРИТТЯ

4.1 Опис дослідної ділянки автомобільної дороги

Дослідження запропонованої технології улаштування тонкошарового покриття з цементної суміш проводилось на існуючому покритті виробничої бази У Святошинському районі м. Київ площиною 2157 м² з асфальтобетонним покриттям, по якому спостерігається інтенсивний рух заводського вантажного та легкового транспорту. Дану ділянку було побудовано в 2011 році. Згідно [106] норма міжремонтного строку експлуатації для асфальтобетонного покриття складає 12 років. Проте у більшості випадків дорожні одяги не витримують навантаження протягом всього цього періоду, тому необхідні ремонти з усунення мікротріщин та відновлення шорсткості покриття [107].

Конструкцію дорожнього одягу покриття наведено на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Конструкція дорожнього одягу

На дослідній ділянці було проведено наступні виміри перед початком виконання робіт:

- візуальний огляд ділянки дороги;
- відбір кернів асфальтобетону для визначення якості асфальтобетонного покриття;

- оцінка рівності покриття;
- оцінка шорсткості (коефіцієнта зчеплення).

Візуальний огляд – це спосіб отримання попередньої інформації, що дозволяє визначити місця, що підлягають детальній інструментальній оцінці. Візуальний огляд даної ділянки показав, що на покритті є невелика кількість дрібних тріщин та вибоїн (рис. 4.2), які знаходяться у поверхневому шарі асфальтобетону. Ці тріщини будуть закриті цементною сумішшю.



Рис. 4.2. Стан дорожнього покриття

Далі наведено фрагмент журналу візуального огляду стану дорожнього одягу (табл. 4.1)

Таблиця 4.1

Фрагмент журналу візуального огляду стану дорожнього одягу

Місце випробування ПК+...	Вид дефекту	Відстань між тріщинами, м	Роскриття тріщин, мм	Бал ділянки на смузі руху		Середній бал ділянки	Середній бал однотипної ділянки	Примітки
				права	ліва			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПК 0 до ПК 1+45	поперечні тріщини	25–30	1–5	4,8	4,8	4,8	4,6	Невеликі поперечні тріщини на всю ширину проїзною частини
ПК1+45 до ПК 2+75	поперечні тріщини	25–30	1–5	4,5	4,5	4,5		Поздовжні тріщини і сітка тріщин. По лівій стороні проїзною частини - сліди заливки поп. тріщин бітумом

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Поздовжні тріщини	–	1–3	4,5	4,5	4,5	4,42	
ПК 2+75 до ПК 3+05	поперечні тріщини	10–20	1–3	4,5	4,5	4,5		Поперечні тріщини рідкісні, зустрічаються невеликі поздовжні тріщини
ПК 3+45 до ПК 4+20	Невеликі поздовжні тріщини	40–50	–	4,8	4,8	4,8	4,67	Зустрічаються рідкісні поздовжні тріщини малої довжини, вибоїни
ПК 4+20 до ПК 5+00	поперечні тріщини	25–30	1–3	4,8	4,8	4,8		Невеликі поздовжні тріщини, в основному, з лівого боку

Рівність дорожнього покриття є одним з основних показників, що характеризують безпеку, зручність руху по дорозі і надають вирішальний вплив на швидкість автомобілів і транспортну роботу дороги в цілому. Рівність поверхні дослідної ділянки визначалась шляхом вимірювання просвітів 3-метровою універсальною рейкою, згідно ДСТУ Б В.2.3-3-2000 «Дороги автомобільні та аеродроми. Методи вимірювань нерівностей основ і покриттів» [108].

На обстежуваній ділянці візуально намічали захватки довжиною по 300-400 м з розрахунку, щоб їх загальна протяжність становила не менше 10% довжини ділянки. На кожному кілометрі обстежується одна захватка. На кожному вимірюваному створі рейку прикладали на відстані 0,5-1,0 м від кромки проїзної частини і по осі. Просвіти під нижньою кромкою рейки і поверхнею дорожнього покриття вимірювали в п'яти контрольних точках, розташованих через кожні 0,5 м по довжині рейки. У межах кожної з захваток заміряли не менше 100-130 просвітів (рис 4.3).

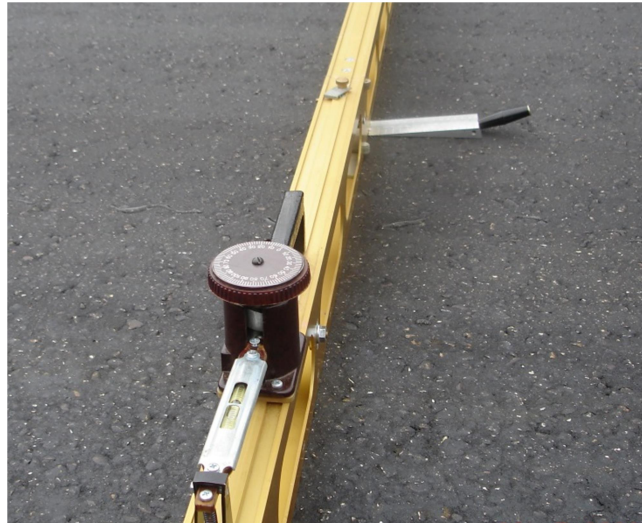


Рис. 4.3. Вимірювання рівності дослідної ділянки триметровою рейкою

Результати вимірювання рівності існуючого дорожнього покриття наведено у таблиці 4.2. За проведеними вимірами рівності можна зробити висновок, що даний показник знаходиться в належному стані та ділянка дороги не потребує додаткових дій щодо вирівнювання поверхні перед нанесенням цементної суміші.

Таблиця 4.2.

Результати вимірів та оцінка рівності існуючого асфальтобетонного покриття

Місце розташування ділянки від ПК... до ПК	Величина максимальних просвітів під рейкою, мм	% від загальної кількості вимірів	Оцінка результатів, бал
ПК 0+00 ПК 2+00	від 0 до 5	98,5	5
	від 5 до 10	1,5	
	більше 10	0	
ПК 2 +00 ПК 4+00	від 0 до 5	98,0	5
	від 5 до 10	2,0	
	більше 10	0	
ПК 4+00 ПК 5+00	від 0 до 5	98,0	5
	від 5 до 10	2,0	
	більше 10	0	
	від 5 до 10	1,5	
	більше 10	0	

Визначення коефіцієнту зчеплення проводилось портативним маятниковим приладом МП-3. Коефіцієнт зчеплення визначається в прямому та зворотному напрямках руху в межах смуг проїзної частини, по лівій смузі накату на відстані 0,5 м від осі проїзної частини і правій полосі – 1,6 м від осі (рис 4.4).



Рис. 4.4. Портативний маятниковий прилад МП-3

Перед вимірюванням коефіцієнта зчеплення дорожнє покриття зволожувалось. Результати вимірювання коефіцієнта зчеплення на існуючому асфальтобетонному покритті наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Результати вимірювання коефіцієнта зчеплення на дослідній ділянці

Місце виміру ПК+...	Значення коефіцієнта зчеплення у напрямку руху				Середнє значення коефіцієнта зчеплення ділянки
	в прямому		в зворотньому		
	f_1	f_2	f_1	f_2	
ПК 0+00	0,3	0,3	0,3	0,34	0,31
ПК 0+50	0,32	0,28	0,31	0,33	
ПК 1+50	0,32	0,33	0,31	0,28	
ПК 2+00	0,3	0,32	0,36	0,32	
ПК 2+50	0,31	0,34	0,28	0,3	
ПК 3+00	0,32	0,3	0,28	0,32	
ПК 3+50	0,31	0,28	0,3	0,34	
ПК 4+00	0,3	0,32	0,28	0,3	
ПК 4+50	0,28	0,29	0,33	0,31	
ПК 5+00	0,31	0,28	0,32	0,32	

Графік виміру коефіцієнта зчеплення в прямому та зворотньому напрямках наведено на рисунку 4.5.

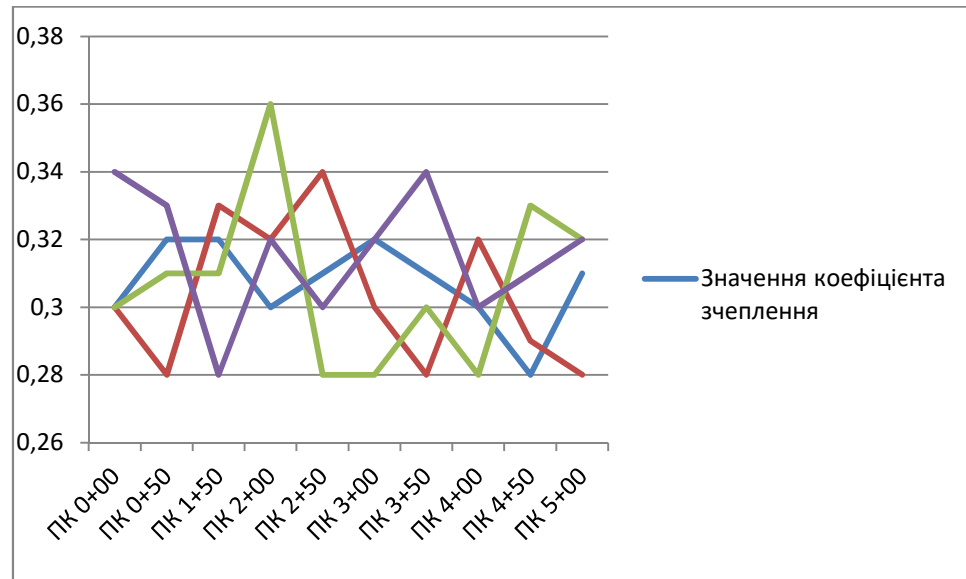


Рис. 4.5. Коефіцієнт зчеплення в прямому та зворотньому напрямках на існуючому покритті

За результатами вимірювання коефіцієнта зчеплення можна зробити висновок, що за п'ять років експлуатації автомобільної дороги коефіцієнт зчеплення досяг значення 0,31, що не припустиме для безпечного та комфортного руху [109]. Необхідне проведення заходів щодо підвищення шорсткості покриття та покращення зчеплення, а саме улаштування шорсткого тонкошарового цементного покриття.

4.2 Визначення якості існуючого асфальтобетонного покриття

Контроль якості асфальтобетону на покритті здійснюється шляхом відбору кернів, який передбачений ДБН В.2.3-4-2000, і їх випробуванням [110].

У процесі випробування визначають: середню густину і водонасичення зразків-кернів, межу міцності при стиску при 20°C і 50°C.

Перед відбором зразків-кernів асфальтобетонне покриття було очищено від пилу і бруду. Відібраний зразок керна повинен бути цілісним і не мати сітки тріщин. Якщо покриття 2-х і 3-х-шарове, то вирубка керна проводиться на всю товщину. Для даної ділянки було виконане вирубання циліндричного керну керновідбірником (рис 4.6).



Рис. 4.6. Керновідбірник GÖLZ KB-200

Відбір kernів здійснювався згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний» [110].

Суть методу визначення межі міцності на стиск полягає у визначенні напруження, що призводить до руйнування зразка при заданих умовах випробування. Для цього використовується прес згідно [110], що дозволяє проводити випробування в необхідному діапазоні навантажень, з силовимірювачами, межа допустимої похибки яких не перевищує $\pm 2\%$ від вимірюваного навантаження, з нормованою швидкістю руху плити або захватів преса ($3,0 \pm 0,15$) мм/хв.

Визначення міцності виконувалось на зразках, виготовлених у відповідності з [110]. При кожній заданій температурі випробувано по три зразка. Зразки для випробувань повинні бути одного віку. Перед випробуванням зразки термостатують при заданій температурі: $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$, $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ або $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$. Температуру $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ створюють змішуванням води з льодом. Зразки з гарячих та холодних сумішей поміщають у щільні

пластикові контейнери або інші засоби, що запобігають їх контакту з водою. При цьому в контейнері не повинно бути залишків повітря, а його стінки повинні щільно прилягати до поверхні зразка. Зразки витримують при заданій температурі протягом (60 ± 5) хв у воді.

Границю міцності при стисканні зразків визначають на механічних пресах при швидкості руху плити преса $(3,0 \pm 0,15)$ мм/хв. Для зменшення втрат температури зразків під час їх контакту з металевими плитами випробувальної машини або преса на верхню та під нижню площини зразка вкладають щільний сухий щільний папір або картон. Випробування повинно бути закінчено протягом $(1,5 \pm 0,5)$ хв після того, як зразок вилучено з термостата. Зразок, видалений з посудини для термостатування, встановлюють на щільний папір або картон у центрі нижньої плити преса і вкривають ним верхню площину зразка, потім опускають верхню плиту на відстань від поверхні зразка від 1,5 мм до 2 мм. Це може бути досягнуто відповідним підніманням нижньої плити преса. Після цього вмикають прес і починають навантажувати зразок.

Для підвищення точності визначення межі міцності при стисканні було використано шарнірний пристрій (рисунк 4.7), що складається з кульки 1 і двох металевих пластин 2, який установлюють на верхній торець зразка 4, накритий прокладкою із паперу 3. Шарнірний пристрій забезпечує рівномірний розподіл навантаження по всій площі торця зразка у випадку непаралельності основ зразка.

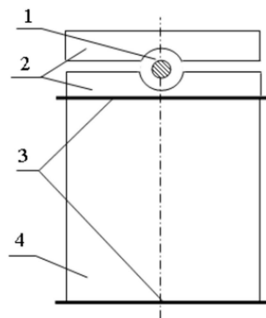


Рис. 4.7. Шарнірний пристрій для випробування на стискання

Максимальний показ силовимірювача приймають за руйнівне навантаження. За результат визначення приймають округлене до першого десяткового знака середньоарифметичне значення випробувань трьох зразків. Різниця між найбільшим та найменшим показниками не повинна перевищувати 10 %.

Результати дослідження кернів, відібраних з асфальтобетонного покриття приведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Результати дослідження кернів, відібраних з асфальтобетонного покриття

№п/п	Товщина шару, см	Середня щільність, кг/м	Водонасичення, % за об'ємом	Коефіцієнт ущільнення	Межа міцності на стиск
Керн №1	5,0	2200	5,7	0,94	0,18
Керн №2	5,0	2190	6,1	0,96	0,19
Керн №3	5,0	2220	6,3	0,98	0,18

Аналіз даних, наведених в табл. 4.3, показує, що водонасичення в зразках – керна проходить по верхній межі, але відповідає вимогам ДБН В.2.3-4-2000 [111]. Високі значення показника водонасичення свідчать про недостатню щільність верхнього шару. За показниками коефіцієнта ущільнення та межі міцності на стиск асфальтобетонне покриття відповідає вимогам [111]. За станом існуючого покриття можна зробити висновок, що воно не потребує додаткових заходів перед нанесенням цементної суміші, рівність та фізико-механічні характеристики в нормі. А дрібні тріщини та сітка тріщин буде закрита цементним розчином. На дане асфальтобетонне покриття можна наносити цементну суміш для підвищення його шорсткості.

4.3 Технологія нанесення цементної суміші на існуюче покриття

Тонкошарове покриття застосовується для відновлення техніко-експлуатаційних показників проїзної частини, рівності та шорсткості, усунення незначних дефектів покриттів (дрібні тріщини та вибоїни). Велике значення приділяється зчепленню тонкошарового покриття з існуючим. В даному випадку зчеплення забезпечується відсутністю бітумної плівки на поверхні проїзної частини, що виникла як результат багаторазового проїзду транспортних засобів по покриттю.

Цементне тонкошарове покриття влаштовують на дорогах I-III технічної категорії, що характеризуються високою інтенсивністю і вантажнапруженістю руху. Укладання тонкошарового покриття необхідно виконувати на вирівняну, відремонтовану поверхню, очищену від пилу та бруду. Якщо нерівності існуючого асфальтобетонного покриття перевищують 1 см, то необхідно влаштовувати вирівнюючий шар з асфальтобетону. Шар цементного покриття улаштовується товщиною не більше 20 мм, однаковою по всій ширині проїзної частини. Цементна суміш, що укладається повинна бути маркою не менше за міцністю на стиск В 25- В 30, за морозостійкістю F150, повинна мати підібраний зерновий склад. Крім цього, суміш повинна бути достатньо зв'язною, не розшаровуватись під час транспортування і розподілу по покриттю. Цементна суміш повинна мати високу повітряутримуючу здатність і утворювати стійкі кромки та бокові грані.

По способу укладання суміш відноситься до укочуваних бетонів, для розподілу яких використовуються бетоноукладачі, які забезпечують укладання шару суміші однакової товщини. Ширина захватки та довжина покриття у машині завдається оператором.

Для забезпечення шорсткості на покритті застосовується кам'яний матеріал фракції 5-10, 10-20 мм, який розподіляється за допомогою щепенерозподілювача у кількості 0,6-0,65 м³ на 100 м² після проходу

бетоноукладача. Укатка кам'яного матеріалу виконується за допомогою одного проходу легкого котка.

Після розподілу цементної суміші виконується прикатка легким котком в один прохід по одному сліду.

Захист шару свіжоукладеного шару від атмосферних опадів в процесі улаштування слід здійснювати рулонною плівкою шириною 8 м, що закріплюється на машині для нанесення плівкоутворюючих матеріалів [112].

При улаштуванні тонкошарового цементного покриття в свіжоукладену цементну суміш з фібрами укладають щебінки на половину їх товщини і прикочують металевим циліндром (легким котком) (рис. 4.8).

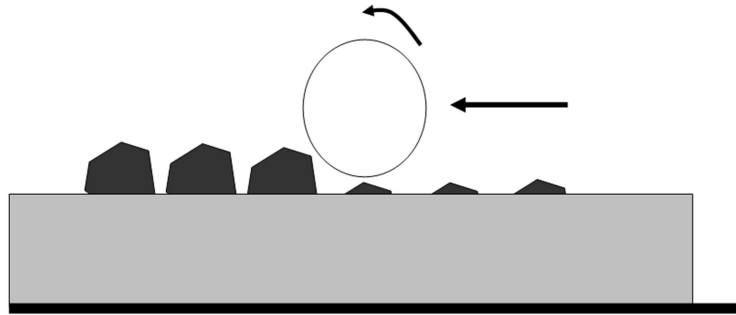


Рис. 4.8. Улаштування тонкошарового цементного покриття

Загальний укладеного цементного покриття, нанесеного на дослідній ділянці наведений на рис. 4.9.



Рис. 4.9. Загальний вигляд цементного покриття

При улаштуванні шару цементного покриття здійснюється систематичний контроль за дотриманням вимог нормативно-технічних документів. Контроль здійснюється інженерно-технічним персоналом та лабораторією. При приготуванні та укладанні шару лабораторія повинна контролювати:

- якість вихідних матеріалів;
- склад цементної суміші і призначене дозування матеріалів;
- приготування цементної суміші, її однорідність, рухомість, жорсткість;
- укладання цементного шару, включаючи стійкість кромки і бокових граней, товщину і ширину покриття.

При догляді за влаштованим шаром слід перевірити своєчасність виконаних заходів по догляду, захисну здатність плівкоутворюючих матеріалів, достатність прийнятих заходів по догляду.

4.4 Вимірювання коефіцієнта зчеплення на дослідній ділянці

Вибірковий контроль рівності проводився на ділянках 100 – 150 м. Вимірювання рівності проводилось на незадовільних по рівності ділянках, які були визначені візуальним оглядом. Бальна оцінка результатів проведена згідно ДБН В.2.3-4:2015 «Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Проектування та будівництво» [113]. Аналіз результатів вимірів показує, що рівність відповідає оцінці задовільно. Всі нерівності, які спостерігаються на поверхні проїзної частини, що мали місце при будівництві даної ділянки передбачається верхнім шаром тонкошарового покриття з цементної суміші (табл. 4.5).

Вимірювання коефіцієнта зчеплення проводилось маятниковим приладом МП-2. Метод заснований на терті гумового імітатора, прикріпленого до зразка у вигляді маятника з поверхнею дорожнього покриття.

Таблиця 4.5

Результати вимірів та оцінка рівності існуючого асфальтобетонного покриття та покриття з нанесеним цементним розчином

Місце розташування ділянки від ПК... до ПК	Величина максимальних просвітів під рейкою, мм	% від загальної кількості вимірів	Оцінка результатів, бал
Рівніть до укладання тонкошарового покриття			
ПК 0+00 ПК 2+00	від 0 до 5	98,5	5
	від 5 до 10	1,5	
	більше 10	0	
ПК 2 +00 ПК 4+00	від 0 до 5	98,0	5
	від 5 до 10	2,0	
	більше 10	0	
ПК 4+00 ПК 5+00	від 0 до 5	98,0	5
	від 5 до 10	2,0	
	більше 10	0	
Цементне покриття			
ПК 0+00 ПК 2+00	від 0 до 5	98,5	5
	від 5 до 10	1,5	
	більше 10	0	
ПК 2 +00 ПК 4+00	від 0 до 5	98,5	5
	від 5 до 10	1,5	
	більше 10	0	
ПК 4+00 ПК 5+00	від 0 до 5	98,5	5
	від 5 до 10	1,5	
	більше 10	0	

За даними таблиці 4.5 після укладання шорсткого цементного покриття рівність залишається задовільною.

Принцип роботи полягає в тому, що на смузі накату по мокрому покриттю кожної смуги руху з поздовжнім ухилом на ділянці не більше 10% о і температурі повітря не нижче 0 ° С. Коефіцієнт зчеплення вимірюється через кожні 200м (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Визначення коефіцієнту зчеплення портативним маятниковим приладом МП-3

При вимірюванні коефіцієнту зчеплення 19 лютого 2015 р. було виміряно температуру повітря, яка складала $+2^{\circ}\text{C}$. Прилад встановлювався в точці вимірювання і фіксувався маятник приладу в верхньому положенні. Потім зволожують дорожнє покриття водою по траєкторії руху маятника, проте покриття було зволожено природним чином.

Маятник відпускався, щоб він виконав одне коливання по покриттю і зупинявся рукою зворотний рух. За стрілкою на шкалі приладу фіксувалися значення показника зчеплення. У кожній точці було виконано по 3 вимірювання і результат випробувань занесено в Додаток В.

За виміряними значеннями коефіцієнта зчеплення побудовано графік значень по пікетах (рис. 4.1.)

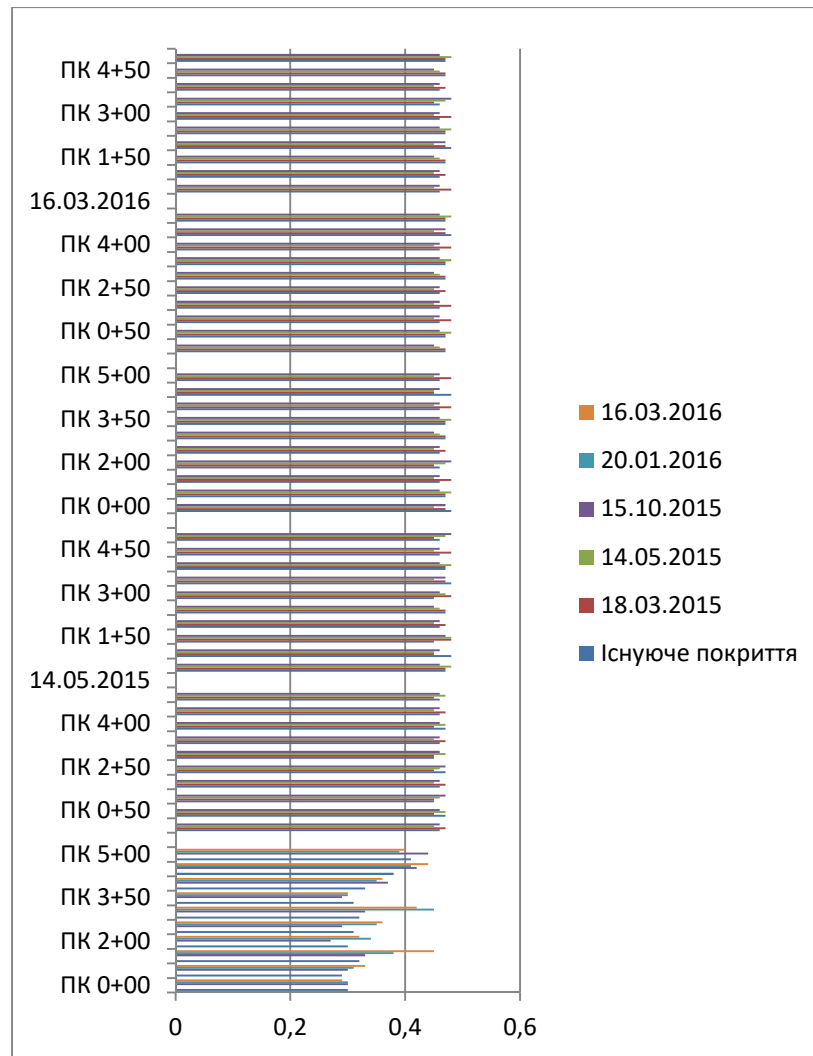


Рис. 4.11 Графік вимірювання коефіцієнта зчеплення у прямому та зворотному напрямках з існуючого покриття до сьогодні

Для визначення динаміки зміни коефіцієнта зчеплення вимірювання проводилось наступним чином. Спочатку було виміряне значення коефіцієнта зчеплення існуючого асфальтобетонного покриття перед нанесення цементної суміші. Далі було виміряне значення коефіцієнта зчеплення після укладання суміші, та проводилось вимірювання взимку та весною 2015. Динаміка зміни коефіцієнта зчеплення наведена у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Динаміка зміни коефіцієнта зчеплення

Дата проведення вимірювань	Існуюче покриття	18.03.15	14.05.15	15.10.15	20.01.16	16.03.16
Середнє значення коефіцієнта зчеплення	0,34	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47

Аналіз даних таблиці 2 показує, що по своїм середнім значенням коефіцієнт зчеплення після укладання суміші відповідає вимогам ДСТУ 3587. Також видно, що за період експлуатації взимку не відбулось зменшення коефіцієнту зчеплення. Графік зміни коефіцієнту зчеплення показано на рис. 4.12.

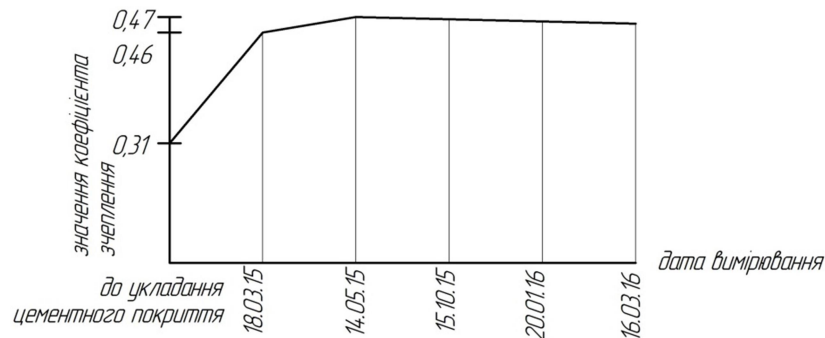


Рис 4.12. Динаміка зміни коефіцієнта зчеплення

Таким чином, можна зробити висновок, що покриття з цементної суміші має значення коефіцієнта зчеплення – 0,47, яке перевищує нормативне значення і вище ніж у традиційних покриттів.

Моніторинг коефіцієнту зчеплення впродовж 1,5 року показує, що по своїм середнім значенням коефіцієнт зчеплення після укладання суміші відповідає вимогам ДСТУ 3587. Важливо, що за період експлуатації взимку не відбулось зменшення коефіцієнту зчеплення.

4.5 Економічна ефективність застосування шорсткого тонкошарового цементного покриття

Весь процес поліпшення дорожніх умов пов'язаний з необхідністю якісної оцінки пропонованих заходів і вибору найефективнішого з них. Економічна ефективність застосування нових методів в будівництві виражається в скороченні термінів будівництва і прискоренні введення в дію виробничих потужностей – в даному випадку автомобільної дороги і основних фондів; в ритмічності роботи будівельних організацій, в повному і рівномірному використанні їх сил і засобів; скорочення обсягу незавершеного будівництва; підвищенні продуктивності праці, зниженні собівартості будівельно-монтажних робіт і поліпшення їх якості. Завдяки прискоренню введення в експлуатацію автомобільних доріг народне господарство отримує додатково продукцію, зберігаються засоби для подальшого розширення будівництва доріг і поліпшення транспортної проблеми.

Зведений кошторисний розрахунок (ЗКР) складено на підставі локальних кошторисів та кошторисних розрахунків, в тисячах гривень. Дані з яких відображено у стовпчиках кошторисної вартості будівельних робіт та загальної кошторисної вартості. В ЗКР вказано дату, за станом на яку прийнято поточні ціни на трудові і матеріально-технічні ресурси (Додаток).

При формуванні договірної ціни, ціни пропозиції і при взаєморозрахунках кошти на покриття витрат підрядника на зведення та розбирання титульних тимчасових будівель і споруд з урахуванням можливості пристосування й використання для цих цілей існуючих та новозбудованих будівель і споруд сталого типу визначатися за усередненими відсотковими показниками (якщо по ДБН, ВБН, ВБНЕ відсоток не перевищує 5%), із застосуванням до них знижувального коефіцієнту 0,85. У разі визначення за окремим кошторисом приймаються у тому числі зворотні суми – 15%.

У кошторисній вартості будівництва враховуються кошти на додаткові витрати при виконанні будівельно-монтажних робіт:

- у зимовий період просто неба та в приміщеннях, що не обігріваються, при температурі зовнішнього повітря нижче 0°C;

- у літній період просто неба при температурі зовнішнього повітря більш ніж +27°C.

Кошти на покриття ризику всіх учасників дорожніх робіт призначені на відшкодування:

- збільшення вартості обсягів робіт та витрат, характер і методи виконання яких не можуть бути точно визначені при проектуванні і уточнюються при визначенні виконавця робіт (проведенні тендеру) або в процесі будівництва;

- збільшення вартості будівництва, спричиненого зміною державних стандартів на окремі матеріали, вироби, конструкції, устаткування тощо.

Розмір цих коштів залежить від стадії проектування, виду будівництва та складності будови і визначається відсотком від підсумку глав 1 – 12 ЗКР, графа 8 із зазначенням у графах 7,8 та приймаються згідно з п.2.24 ВБН Д.1.1-218-1-2001 (із змінами та доповненнями №3) та п.2.26 до ВБН В.3.2-218-180-2003 для робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг при двостадійному проектуванні – 3 %, при одностадійному проектуванні – 3,6 %.

Для розрахунку економічної ефективності порівняємо два методи відновлення шорсткості покриття. Перший - одиночна поверхнева обробка удосконалених покриттів бітумом із застосуванням щебеню. Другий – нанесення цементної суміші з подальшим розсипом щебеню.

Одношарова поверхнева обробка з одноразовим розподілом в'язучого (бітуму) та щебеню застосовується для створення шорсткої поверхні і шару зносу дорожнього одягу з достатньою міцністю – це найпоширеніший вид шорсткої поверхневої обробки, найбільш підходящий для всіх видів руху.

Роботи по влаштуванню одиночної поверхневої обробки з використанням бітумів проводять за таким порядком: підготовка поверхні (очищення від пилу і бруду) і ремонтні роботи; розлив в'язучого; розподіл щебеню; укатка; догляд в період формування.

Роботи по влаштуванню цементного покриття виконують у наступній послідовності: очищення поверхні дороги сухими щітками, Очищення тріщин стисненим повітрям від забруднень і пилу, закладення дрібних тріщин до 5 мм мастикою, укладання цементного розчину товщиною 20 мм, розподіл щебеню і укатка шару легким гладковальцевим катком, обладнаним навісним щебнерозподілювачем для дорожнього катка, розподіл плівкоутворюючого матеріалу.

Поточна вартість 1 т цементної суміші визначається розрахунком собівартості приготування суміші. Норма часу роботи машин та механізмів, змішувальних установок та іншого технологічного обладнання, витрати праці робітників приймаються згідно таблиць ресурсно-кошторисних норм і розцінок ДСТУ Б Д.2.2-27:2012 «Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Автомобільні дороги (Збірник 27)» [114]. До складу цементної суміші входить цемент марки 400, щебінь фракцій 5-10, 10-20 (об'єм 0,6-0,65 м³ на 100 м²), базальтове фіброволокно, пісок, вода, суперпластифікатор – СЗ. Відпускна ціна визначається на основі кошторисної вартості збірника кошторисних цін на матеріали, вироби і конструкції за вирахуванням заготівельно-складських витрат, які становлять 2,24% від вартості матеріалів. Відпускна ціна 1 т цементної суміші визначається шляхом ділення прямих витрат на вимірник (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Калькуляція собівартості виготовлення цементної суміші

№ п/п	Код ресурсу та найменування елементів затрат	Од. вим.	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.
1	2	3	4	5
1 Витрати праці				
1.1	С1 Витрати праці робітників-будівельників Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	люд-год розряд	74,92 3,1	18,61
1.2	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин Середній розряд ланки робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд-год розряд	9,96 5,4	25,77
1.3	Витрати труда робітників, заробітна плата яких враховується в складі:			
1.4	загальновиробничих витрат	люд-год	10,19	32,30
	Усього			95,07
2 Експлуатація механізмів				
2.1	Машини поливально-мийні, місткість 6000 л CH212-1601	маш-год	0,47	<u>241,05</u> 113,29
2.2	Розподільники щебеню та гравію CH212-1801	маш-год	0,1	<u>156,74</u> 15,67
2.3	Коток HYDROGRG +CH212-2205	маш-год	4,31	<u>270</u> 1163,70
2.4	Щітки дорожні навісні на базі трактора CH233-1681	маш-год	0,322	<u>139,82</u> 45,02
2.5	Бетоноукладач фірми WIRTGEN SP-25, обладнаний механізмом для встановлення дюбелів та конвеєрною стрічкою +CH250-3-10-CA	маш-год	0,98	<u>3850</u> 3773,00
	Усього	Грн.		5110,68
3 Основні матеріали				
3.2	Суперпластифікатор С3	т	0,013	<u>1200</u> 15,60
3.3	Базальтове фіброволокно	10м2	1,1	<u>125</u> 137,50
3.4	Щебінь із природного каменю для будівельних робіт, фракція 5[3]-10 мм, марка М1000 і більше	м3	21,17	<u>550,33</u> 357,71
3.5	Пісок природний, рядовий	м3	0,65	<u>251,51</u> 1018,62
3.6	Розчин важкий цементний, марка М250	м3	4,05	<u>1125</u> 2295,00
3.7	Вода	м3	21,17	<u>13,43</u> 284,31
	Усього			5323,74

Далі складемо калькуляцію на одиночну поверхневу обробку (табл. 4.9)

Таблиця 4.9

Калькуляція собівартості виготовлення цементної суміші

№ п/п	Код ресурсу та найменування елементів затрат	Од. вим.	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.
1	2	3	4	5
1 Витрати праці				
1.1	С1 Витрати праці робітників-будівельників Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	люд-год розряд	74,92 3,1	18,61
1.2	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин Середній розряд ланки робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд-год розряд	9,96 5,4	25,77
1.3	Витрати труда робітників, заробітна плата яких враховується в складі:			
1.4	загальновиробничих витрат	люд-год	10,19	32,30
	Усього			95,07
2 Експлуатація механізмів				
2.1	Автовантажувачі, вантажопідйомність 5 т +СН203-101	маш-год	0,4125	<u>195</u> 80,44
2.2	Автогудронатори, місткість 7000 л +СН212-102	маш-год	0,175	<u>295,1</u> 51,64
2.3	Автогрейдери середнього типу, потужність 99 кВт [135 к.с.] +СН212-202	маш-год	0,725	<u>310</u> 224,75
2.4	Котки дорожні самохідні вібраційні гладковальцеві, маса 13 т +СН212-907	маш-год	0,9375	<u>220</u> 206,25
2.5	Щітки дорожні навісні на базі трактора +СН233-1681	маш-год	0,1125	<u>185,25</u> 20,84
	Усього	Грн.		583,92
3 Основні матеріали				
3.1	Бітуми нафтові дорожні БНД-40/60, вищий сорт	т	0,35	<u>10200</u> 3570,00
3.2	Гідроізол	т	110	<u>65,8</u> 7238,00
3.3	Толь з грубозернистою засипкою, марка ТВК-350	10м2	110	<u>37,5</u> 4125,00
3.4	Щебінь із природного каменю для будівельних робіт, фракція 5[3]-10 мм, марка М1000 і більше	м3	4,05	<u>550,33</u> 2228,84
	Усього			17161,84

Для виконання розрахунку порівняльної економічної ефективності було виконано кошторисний розрахунок по двох технологіях для відновлення шорсткості поверхні автомобільної дороги за класичною технологією та за запропонованим методом із використанням цементної суміші. Отримані вартості наведено на рисунку 4.13.



Рис. 4.13. Вартості відновлення шорсткості за двома методами

Для розрахунку економічного ефекту від впровадження технології відновлення шорсткості з використанням цементної суміші за [115] можна розрахувати за формулою:

$$E = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1};$$

$$T = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2},$$
(4.1)

де E – коефіцієнт порівняльної ефективності;

T – термін окупності додаткових капітальних вкладень економією на поточних витратах,

K_1, K_2 – одночасні витрати по порівнюваним варіантам;

C_1, C_2 – поточні витрати по порівнюваним варіантам.

Якщо $E > E_n$ або $T < T_n$, то додаткові одноразові витрати, а отже, і більш капіталомісткий варіант ефективні.

Показники K і C можуть прийматися як в повній сумі одноразових і річних поточних витрат, так і у вигляді питомих величин: питомих одноразових витрат на одиницю транспортної продукції та поточних витрат на цей же вимірювач при обов'язковому дотриманні повної сумісності варіантів, в основі якої лежить рівність споживчого ефекту.

Вартість робіт з експлуатаційного утримання C розраховується як сума прямих та накладних витрат за формулою:

$$C = P_g + H_g \quad (4.2)$$

де P_g – прямі витрати;

H_g – накладні витрати.

Прямі витрати розраховуються на підставі трудомісткості їх виконання за формулою:

$$P_B = (Z_{\text{п}} \cdot K_{\text{н}} \cdot T_{\text{рп}} + B_{\text{м}} + A) \cdot \left(\frac{1 + P_{\text{н}}}{100} \right) + П, \quad (4.3)$$

де $Z_{\text{п}}$ – середньогодинний фонд оплати праці колективу виконавців, грн;

$K_{\text{н}}$ – коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату, $K_{\text{н}} = 37,8\%$;

$T_{\text{рп}}$ – трудомісткість робіт, люд. год.;

$B_{\text{м}}$ – витрати на матеріали та інші прямі витрати при проведенні робіт, грн.;

A – сума амортизаційних відрахувань, грн;

$P_{\text{н}}$ – рівень рентабельності (20%);

$П$ – сума податків (на додану вартість, прибуток, на землю, на транспорт та інші), грн;

Сумма амортизаційних відрахувань A , нарахованих на основні фонди, що використовуються при виконанні робіт, розраховується за формулою:

$$A = \frac{(B_I \cdot 0,0125 + B_{II} \cdot 0,0625 + B_{III} \cdot 0,0375) \cdot T_{рп}}{(8 \cdot K) \cdot 3}, \quad (4.4)$$

де B_I, B_{II}, B_{III} – балансова вартість I, II, III основних фондів відповідно, що використовуються при виконанні робіт, грн;

0,0125 – норма амортизаційних відрахувань для I групи основних фондів; 0,0625 – норма амортизаційних відрахувань для II групи основних фондів; 0,0375 – норма амортизаційних відрахувань для III групи основних фондів;

8 – тривалість робочого часу, год;

K – коефіцієнт перерахування людино-днів в людино-місяці (кількість робочих днів в місяці).

Під накладними витратами розуміють витрати, пов'язані з організацією й управлінням виробництвом робіт з експлуатаційного утримання.

До складу накладних витрат входять: адміністративно-господарські витрати, витрати по обслуговуванню працівників будівництва, витрати на організацію робіт з експлуатаційного утримання та інше. Складемо калькуляції на експлуатаційне утримання із запропонованим цементним шаром покриття та при використанні одиночної поверхневої обробки.

Таблиця 4.10

Калькуляції на експлуатаційне утримання із запропонованим цементним шаром покриття та при використанні одиночної поверхневої обробки

№ п/п	Код ресурсу та найменування елементів затрат	Од. вим.	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.
1	2	3	4	5
1 Витрати праці				
1.1	C1 Витрати праці робітників-будівельників Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	люд-год розряд	74,92 3,1	18,61

Продовження табл. 4.10

1	2	3	4	5
1.2	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин Середній розряд ланки робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд-год розряд	9,96 5,4	25,77
1.3	Витрати труда робітників, заробітна плата яких враховується в складі:			
1.4	загальновиробничих витрат	люд-год	10,19	32,30
	Усього			95,07
2 Експлуатація механізмів (цементне покриття)				
2.1	Машини поливально-мийні, місткість 6000 л СН212-1601	маш-год	0,47	<u>241,05</u> 113,29
2.2	Щітки дорожні навісні на базі трактора СН233-1681	маш-год	0,322	<u>139,82</u> 45,02
	Усього	Грн.		380,87
2 Експлуатація механізмів (одиначна поверхнева обробка)				
2.2	Автогудронатори, місткість 7000 л +СН212-102	маш-год	0,175	<u>295,1</u> 51,64
2.5	Щітки дорожні навісні на базі трактора +СН233-1681	маш-год	0,1125	<u>185,25</u> 20,84
	Усього	Грн.		4805,35
3 Основні матеріали (цементне покриття)				
3.1	Мастика бутилкаучукова холодна	т	0,09	<u>135,00</u> 1215,00
3.2	Щебінь із природного каменю для будівельних робіт, фракція 5[3]-10 мм, марка М1000 і більше	м3	21,17	<u>550,33</u> 357,71
3.3	Вода	м3	21,17	<u>13,43</u> 284,31
	Усього			698,76
3 Основні матеріали (одиначна поверхнева обробка)				
3.1	Бітуми нафтові дорожні БНД-40/60, вищий сорт	т	0,35	<u>10200</u> 3570,00
3.2	Гідроізол	т	110	<u>65,8</u> 7238,00
3.3	Толь з грубозернистою засипкою, марка ТВК-350	10м2	110	<u>37,5</u> 4125,00
	Усього			14933,00

Трудомісткість виконання робіт по експлуатаційному утриманню, необхідна для розрахунку прямих витрат знаходиться у таблиці 4.11 [116].

Таблиця 4.11

Трудомісткість виконання робіт по експлуатаційному утриманню

Найменування роботи	Найменування ресурсу	Шифр ресурсу	Одиниця виміру	Трудомісткість
Очищення проїзної частини доріг автогрейдером ДЗ-61 А від нанесеного ґрунту	Витрати труда робітників будівельників Автогрейдери легкого типу потужністю 66 кВт	1 212- 0201	люд. год. маш. год	0,497 0,497
Очищення покриття від пилу та бруду автополивальною машиною на 1000 м ²	Витрати труда машиністів Машини поливально-мийні місткістю 6000 л	1 212- 1601	люд. год. маш. год	0,055 0,055
Приготування протижеледного матеріалу на окремо розташованому майданчику автогрейдером	Витрати труда машиністів Автогрейдери середнього типу потужністю до 99 кВт	1 212- 0202	люд.год маш.год	1,080 1,080
Очищення щебеневого покриття від пилу вручну	Витрати труда робітників-будівельників	1	люд.год	1,300
Усього				4,564

Нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності (Ен) встановлено в цілому для автомобільних доріг на рівні 0,12. Він позначає мінімум зниження поточних витрат на одиницю додаткових одноразових витрат (тобто їх різниці за варіантами), при якому ці додаткові витрати можуть бути визнані ефективними.

$$E = 0,37$$

$$T = 1,68$$

В даному розрахунку коефіцієнт порівняльної ефективності складає 0,37, що втричі більше за нормативний, термін окупності даного проекту складає майже півтора роки. Таким чином можна зробити висновок, що метод відновлення шорсткості з використанням цементної суміші є більш економічно ефективним ніж класичний метод. А загальний економічний

ефект від застосування нового методу відновлення шорсткості складає 4762 тис. грн. на кожні 100 м² відновленої ділянки.

Основними показниками, що акумулюють вигоди від впровадження технічних розробок та використовуються для оцінки економічної ефективності проектів, є: чистий дисконтований дохід (прибуток); індекс дохідності (прибутковості); період окупності інвестицій у реалізацію проекту.

Кожен з основних показників ефективності може використовуватись за певним призначенням, а саме:

- ЧДД використовують для ранжування інноваційних пропозицій та вибору пріоритетних проектів з точки зору їх ефективності;

- ВНД проекту це очікуваний рівень дохідності, його використовують для прогнозування дохідності, тобто визначає беззбитковість проекту;

- індекс дохідності (коефіцієнт ефективності) показує рівень накопиченого чистого прибутку, зумовленого одиницею вкладених у проект коштів; показник періоду окупності інвестованих в інновації коштів дозволяє одержати інформацію про рівень ризикованості проекту в зв'язку зі змінами у відносній ліквідності інвестицій.

Загальні капітальні вкладення у виробництво цементної суміші для відновлення шорсткості покриття визначаються із розрахунку річного обсягу виробництва цементобетонного заводу продуктивністю 50 т/год. Річний обсяг виробництва цементобетонного заводу приймається рівним 12000 т. Отже, загальні капітальні вкладення дорівнюють добутку вартості 1 т цементної суміші та річного обсягу виробництва цементобетонного заводу (таблиця 4.12).

Чистий дисконтований дохід (прибуток) визначається як відношення сумарних чистих грошових потоків до формалізованого виразу його дисконтування, а саме:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{P_t}{(1+d)^t} \quad (4.5)$$

де ЧДД – чистий дисконтований дохід;

t – роки реалізації інвестиційного проекту;

P_t – чистий грошовий потік у періоді t ;

d – норма дисконтування.

Таблиця 4.12

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності впровадження цементної суміші у виробництво

Загальні капітальні вкладення в технологію та обладнання	10165,05 грн.
У тому числі в першому році реалізації проекту	10165,05 грн.
Витрати на виготовлення зразків (5,78 %)	587,54 грн.
Кошторисний прибуток	13 187 грн.
Ставка дисконтування	0,16
Термін реалізації інвестиційного проекту	1,5 роки
Загальновиробничі витрати	3388,35 грн.
Прямі витрати	6776,70 грн.

Чистий грошовий потік складається з щорічних значень грошей, що є різницею між сумою притоку та відтоку грошей:

$$P_{t_i} = \Pi_{t_i} - Q_{t_i}, \quad (4.6)$$

де P_{t_i} – чистий грошовий потік у періоді реалізації проекту t_i ;

Π_{t_i} – надходження грошей у цьому періоді;

Q_{t_i} – витрачання грошей у цьому періоді.

Інтегральний чистий грошовий потік є сумою потоків за весь період життєвого циклу проекту, тобто:

$$P_t = \sum_{t=0}^T (P_t - Q_t), \quad (4.7)$$

Впровадження запропонованої технології відбудеться протягом поточного року, тому розрахунки обсягів чистого грошового та кумулятивного потоків, як вихідних даних для розрахунків чистого дисконтованого доходу (ЧДД) не проводимо.

Коефіцієнт чистого дисконтованого доходу (індекс дохідності) визначається як співвідношення ЧДД та необхідної дисконтованої вартості інвестицій. Це співвідношення дозволяє одержати дисконтовану норму прибутку і обчислюється за формулою:

$$ID = \frac{ЧДД}{ДВІ}, \quad (4.8)$$

де ID – індекс дохідності;

ЧДД – чистий дисконтований дохід;

ДВІ – дисконтована вартість інвестицій (вартість капітальних і одноразових витрат) в інновації.

В випадку неможливості застосування чистого дисконтованого доходу замінюємо його кумулятивним чистим доходом за 1 рік впровадження технології. Кумулятивний чистий дохід містить в собі:

- зниження витрати щебеню – 1186,43 тис. грн.;
- зниження витрати гідроізоляційних матеріалів – 1778,5 грн.;
- зниження витрати піску – 592,83 грн.

Індекс дохідності становитиме:

$$ID = \frac{3557,76}{10165,05} = 0,35,$$

Тобто, рентабельність реалізації проекту становитиме 35%, а проект слід визначити прибутковим.

Стійкість проекту визначається за допомогою точки беззбитковості. Точка беззбитковості проекту визначається як відношення постійних поточних витрат до різниці між ціною та змінними витратами на одиницю

продукції. Точка беззбитковості визначається за формулою

$$T_6 = \frac{ПВ}{Ц_1 - ЗВ_1}, \quad (4.9)$$

де T_6 – точка беззбитковості;

$Ц_1$ – ціна одиниці;

ПВ – постійні витрати;

$ЗВ_1$ – змінні витрати.

$$T_6 = \frac{3388,35}{6776,7 - 260,64} = 0,52 = 52 \%,$$

де T_6 – точка беззбитковості;

3388,35 грн. – загальновиробничі витрати;

260,64 грн. – ціна одиниці;

6776,7 грн. – прямі витрати.

Точка беззбитковості знаходиться в межах, що підтверджує надійність проекту.

Таким чином, визначена економічна ефективність впровадження у виробництво відновлення шорсткості покриття за допомоги цементної суміші. Було встановлено, що рентабельність реалізації проекту становитиме 35%, період окупності інвестицій становить 1,5 роки, а також точка беззбитковості знаходиться в межах 52% від номінального обсягу виробництва. Тобто проект вважається прибутковим та надійним.

Також собівартості відновлення шорсткості покриття за допомоги цементної суміші є меншою ніж собівартість суміші типового відновлення на 23%. Це обумовлено більш збалансованим використанням кам'яного матеріалу, зменшенням витрати бітуму та піску, гідроізоляційних матеріалів.

4.6 Висновки за розділом

1. Проведений аналіз якості існуючого покриття показав незадовільний стан зчеплення колеса з поверхнею проїзної частини ($k_{зч}=0,31$), тому необхідні заходи щодо підвищення шорсткості та зчеплення з використанням цементної суміші.

2. Моніторинг коефіцієнту зчеплення впродовж 1,5 року після побудови цементного шару показує, що по своїм середнім значенням коефіцієнт зчеплення після укладання суміші відповідає вимогам ДСТУ 3587. Важливо, що за період експлуатації взимку не відбулось зменшення коефіцієнту зчеплення.

3. Розраховано калькуляцію собівартості відновлення шорсткості покриття за допомоги цементної суміші – 13,187 тис. грн (100 м^3) та порівняно її із собівартістю виконання одиночної поверхневої обробки 17,949 тис. грн (100 м^3).

4. Виявлено, що собівартості відновлення шорсткості покриття за допомоги цементної суміші є меншою ніж собівартість суміші типового відновлення на 23%. Це обумовлено більш збалансованим використанням кам'яного матеріалу, зменшенням витрати бітуму та піску, гідроізоляційних матеріалів.

5. Визначена економічна ефективність впровадження у виробництво відновлення шорсткості покриття за допомоги цементної суміші. Було встановлено, що рентабельність реалізації проекту становитиме 35%, період окупності інвестицій становить 1,5 роки, а також точка беззбитковості знаходиться в межах 52% від номінального обсягу виробництва. Тобто проект вважається прибутковим та надійним.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений огляд традиційних методів підвищення шорсткості існуючих асфальтобетонних покриттів показав необхідність розробки і застосування сучасної економічної технології, яка б у повній мірі задовольняла потреби безпечного та комфортного руху транспортних засобів. Вперше теоретично визначено і експериментально підтверджено лабораторними та натурними спостереженнями можливість улаштування шорсткого тонкошарового цементного покриття на нежорстку основу – існуюче асфальтобетонне покриття, як нового перспективного способу підвищення довговічності і шорсткості існуючого верхнього асфальтобетонного шару покриття.

2. Отримано нові експериментальні дані параметрів шорсткості (площі контакту протектору шини з кам'яним матеріалом покриття, радіусу при вершині кам'яного матеріалу), за допомогою комп'ютерної обробки зображення відбитку протектору шини на поверхні асфальтобетонного покриття, що значно спростило визначення цих параметрів для подальшого вибору методу відновлення шорсткості. Розроблено модель поверхні асфальтобетонного покриття з урахуванням динаміки погіршення шорсткості під впливом автотранспорту, що дозволило не тільки оцінити стан існуючого покриття, а й спрогнозувати його стан у динаміці.

3. Отримано автоматизований процес визначення площі контакту шини з кам'яним матеріалом за допомоги методу комп'ютерного зору. Обґрунтовано параметри шорсткості поверхні автомобільної дороги, та з урахуванням цього обрано оптимальну фракцію щебню для побудови шорсткого тонкошарового цементного покриття (5 – 10 та 10 – 20).

4. Розроблено склад цементної суміші для улаштування шорсткого тонкошарового цементного покриття, з урахуванням існуючих параметрів шорсткості асфальтобетонного покриття автомобільної дороги, експериментально підтверджена оптимальність складу суміші та визначені

фізико-механічні характеристики суміші, які задовольняють вимогам діючих нормативних документів. Підібраний склад цементної суміші можна рекомендувати для дослідного впровадження в виробничих умовах на автомобільних дорогах всіх категорій і значення в усіх дорожньо-кліматичних зонах України.

5. Проведені лабораторні дослідження по визначенню можливості використання базальтової фібри для дисперсного (хаотичного) армування цементної суміші показали, що матеріал може бути застосований як армуюча добавка, що призведе до покращення фізико-механічних властивостей дисперсно-армованої цементної суміші. Введення базальтової фібри до цементної суміші дозволяє покращити фізико-механічні характеристики (збільшення міцності на стиск на 20 %, міцності на розтяг при згині на 20 % – 25 %, морозостійкості і водостійкості на 15 – 20 %). Проведеними дослідженнями встановлена оптимальна кількість введення фібри, яка складає для цементної суміші 2,0 % за масою. Технологія введення практично не впливає на фізико-механічні показники цементної суміші.

6. Розроблено технологію нанесення на поверхню існуючого асфальтобетонного покриття цементної суміші для улаштування шорсткого тонкошарового цементного покриття.

7. Шорстке тонкошарове цементне покриття має значення коефіцієнта зчеплення, яке перевищує нормативне значення і вище ніж у традиційних покриттів та складає 0,47. Моніторинг коефіцієнту зчеплення впродовж 1,5 року показує, що по своїм середнім значенням коефіцієнт зчеплення після укладання суміші відповідає вимогам ДСТУ 3587 «Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану». Важливо, що за період експлуатації взимку не відбулось зменшення коефіцієнту зчеплення.

8. Метод відновлення шорсткості з використанням цементної суміші є більш економічно ефективним ніж традиційні методи. Загальний

економічний ефект від застосування нового методу відновлення шорсткості складає 4762 тис. грн. на кожні 100 м² відновленої ділянки. Економічна ефективність використання дисперсно-армованою базальтовою фіброю цементної суміші виникає за рахунок збільшення строку служби нежорсткого дорожнього одягу, можливого зменшення товщини верхнього шару, зменшення витрат на ремонт і утримання доріг з асфальтобетонним покриттям.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гасанов Р.М. Баловень века. Автомобиль і бізнес. – М.: Мол. Гвардія, 1990 – 190с.
2. Verkehrspolitik fur das Jahr 2000 – Factor fur das Lackiererhandwerk. –Fahrzeug – und Metall // Lackser. – 1989 –33, №8. –р.24.
3. Экономические аспекты научно-технического прогнозирования. /Под ред. Виленского М.А. – М.: Экономика, 1975. – 222 с.
4. Бабков В.Ф. Развитие техники дорожного строительства. –М.: Транспорт. –1988. – 272с.
5. Бабков В.Ф., Могилевич В.Н., Некрасов В.К. Реконструкция автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1987. – 264с.
6. Білятинський О.А., Цибенко Ю.А. Рациональне прокладання траси при реконструкції доріг //Збірник “Автомобільні дороги та дорожнє будівництво”, № 44, К., 1989, – с.3-5.
7. Порожняков В. С. Оценка сцепления шин авомобиля с дорожным покрытием / под ред. В. Ф. Бабкова – К.: Высшая шк., 1967. – 100 с.
8. Лазебников М. Г., Бакуревич Ю. Л. Эксплуатация автомобилей в тяжелых дорожных условиях. – М.: Транспорт., 1976. – 224 с.
9. Кочетков А. В. Шероховатые поверхности: нормирование, проектирование и устройство / А. В. Кочетков, П. С. Суслиганов. // Автомобильные дороги. – 2005. – №1. – С. 54–56.
10. Ларин А. Н. сцепление автомобильной шины с дорогой покрытой слоем воды. Автореф. дис...канд. тех. наук / ХАДИ. – Х., 1989. – 18 с.
11. Бидерман В. Л., Левин Д. С., Слюдииков Л. Д., Упорина Л. А. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на износ, сцепление и сопротивление качению автомобильных шин. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. – 97 с.
12. Крагельский И. В., Михин Н. М. Узлы трения машин. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.

13. Палюк Д.О., Кизима С.С. Врахування залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості при розрахунках довжини шляху гальмування автомобіля // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Випуск 40. – К., Будівельник, 1987. – С 64-68.

14. Немчинов М.В. Дополнительные требования к шероховатости покрытий высокогорных дорог // Ровность дорожных покрытий и сопротивление скольжению автомобильных шин. Труды Союздорнии. Вып. 72. – М., 1974. – С. 18-24.

15. Немчинов М. В. О сцеплении шин с мокрыми покрытиями. Сб. Обеспечение безопасности движения на автомобильных дорогах. Труды МАДИ. Вып. 28. 1969, – с. 77-88.

16. Бабков, В. Ф. Проектирование автомобильных дорог : учебник для вузов: в 2-х частях. изд. 2-е перераб. и доп. / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М.: Транспорт, 1987.

17. Беятинський А.О. Підвищення шорсткості цементобетонних покриттів автомобільних доріг / Скрипченко О.В., Беятинський А.О., Прусов Д.Е. // Проблеми розвитку міського середовища: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2014. – Вип. 1(11). – С. 433-442.

18. Павлюк Д. О. Основи і застосування теорії зчїпних якостей дорожнього покриття: Дис... д-ра техн. наук – К., 1996. – 480 с.

19. Брайловский С.С., Линькова Т.Н. Определение оценочных характеристик плавности проектируемой автомобильной дороги с применением ЭВМ. Сб. Повышение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог и безопасность движения. М. : Союздорнии, 1991, – С .57-61.

20. Шейнин А.М., Астров В.А., Рвачев А.Н., Ивантеев А.В., Повышение шероховатости и коэффициента сцепления цементобетонных покрытий / Автомобильные дороги. – 1983. – №12. – С. 13-15.

21. Сегеркранц В. М. Исследование свойств транспортного потока при проектировании режимов скоростей Дис. докт. техн. наук. Таллинн, 1983. – 376 с.
22. Васильев А.П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях, М.: Транспорт, 1976. – 224 с.
23. Забишний О.С. Теоретичне обґрунтування коефіцієнта зчеплення. Автодорожник України. 1994, №2, – с. 35-37.
24. Булатов, А.И., Крулев, Г.И. Предупреждение дорожно-транспортных происшествий / А.И. Булатов, Г.И. Крулев. М., 1971. – 247 с.
25. Зингер Г.А. Пархачев А.Д. За пять секунд до аварии: Водителю о безопасности дор. движения / Г. Зингер, А. Пархачев, , М.: Прометей 1990, – 222 с.
26. Залетаев М.В. Анализ дорожно-транспортных происшествий с автобусами. Сб. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения. Труды МАДИ. М., 1973, – с. 28-36.
27. Бабков В. Ф. Неотложные задачи развития натурных исследований в области безопасности и организации дорожного движения. Сб. Учет тренировок безопасности движения при проектировании автомобильных дорог. Труды МАДИ. Вып. 95. – М.: МАДИ 1975, с. 3-14.
28. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов.— М.: Транспорт, 1993.—271 с.
29. Косарев Б. М. Обоснование требований к шероховатости дорожных покрытий по сцепним качкстваи плавности хода автомобилей. Автореф. дис.. ктн МАДИ 1985, – 19 с.
30. Halliday J.S. Developments of surfue dressing / J.S. Halliday // Pros. Inst. Mech.Engs.. – Vol. 169. – 1955. – P. 777-787.
31. Viele Risikofaktoren bei Fahrzeugen und Verkehrsteilnehmer sind vermeidbar. Gummidtreifung, 1989. – 65, №5, p. 18-19.

32. Порожняков В.С. Оценка сцепления шин автомобиля с дорожным покрытием / под. ред. В. Ф. Бабкова – К.: Высшая шк., 1967. – 100 с.
33. Лабезников М.Г. Эксплуатация автомобилей в тяжелых дорожных условиях. / М.Г. Лабезников, Ю.Л. Бкуревич – М.: Транспорт., 1976. – 224 с.
34. Петров М. А., Шинкаренко А. А., Ягодкин Л. Г. Определение силы трения резины по твердой поверхности при малых скоростях движения // Каучук и резина. Выпуск №12 – Москва, 1972. – С. 41-42
35. Петров М. А. Работа автомобильного колеса в тормозном режиме / М. А. Петров – Омск: Западно-Сибирское книжное издательство, 1973. – 224 с.
36. Залуга В.П. Пассивная безопасность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1987, 224 с.
37. Матросов А. П. Результаты мероприятий к улучшению дорожных условий. Автомобильные дороги., 1982, №3, с. 21-22.
38. Некрасов, В. К. Эксплуатация автомобильных дорог / В. К. Некрасов. М.: Высшая школа, 1970. – 240 с.
39. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: Учебник для вузов; Под ред. А.П. Васильева. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.
41. Samuel K. Clarc. Mechanics of Pneumatic Tires / Samuel K. Clarc. – Washington: U.S. Department of Transportation, 1982. – P. 365-380.
42. Гебла А. Разработка способа определения молекулярной составляющей коэффициента трения. Автореф. дис...канд. техн. наук: Московский институт нефти и газа. – М., 1989. – 23 с.
43. Жуков В.И., Исследование сцепления автошины дорог с дорожным покрытием в зимнее время. Автореф. дис...канд. техн. наук / СибАДИ. – Омск, 1971. – 28 с.

44. Ильченко В. В. Удосконалення оцінки шорсткості поверхні дорожнього покриття. Дис. на здобуття канд. техн. наук. – К., 2005. – 187 с.
45. Пат. 2101414 Российская Федерация E01C7/35, E01C7/10, E01C11/24. Способ обработки цементобетонного покрытия / Ушаков В.В.; Елисеева Л.И.; Вишневский А.В.; заявитель и патентообладатель Читинский государственный технический университет. - № 2101414 ; заявл. 06.05.1996 ; опубл. 10.01.1998.
46. Пат. 2473370 Российская Федерация E01C5/08. Дорожная одежда для автомобильных дорог и аэродромных покрытий Бикбау М. Я.; Бикбау У. М.; Тимочкина Л. Ю.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "ИМЭТСТРОЙ" (ЗАО "ИМЭТСТРОЙ"). – № 2473370; заявл. 07.08.2011 ; опубл. 27.01.2013.
47. Йсикане Тору Доро кэнсэцу. – 1987. – 1987., № 468, – с.54-56.
48. IV Budapesti utugyi konferencia, okt.4-6, 1988. Vol.2, Budapest, 1988. –371с.
49. Schuler Direter Entwicklungstendenzen in der Asphaltindustrie //Strasse+Autobahn/ – 1989/ – 40, № 8. – p.291-301.
50. Ловечек З. А. Повторное использование дорожно-строительных материалов // Совещание ОСЖД. – Москва, 1989. – 7с.
51. Осяев Ю.Н., Даенман Б.Д. Опыт термопрофилирования // Автомобильные дороги. – 1985. – № 7, – с.17-18.
52. Билай Л.В. Регенерация использованного дорожного асфальтобетона. Дис. канд.техн.наук: 05.23.14. – К., 1969. –191с.
53. Королев И.В. Пути економии битума в дорожном строительстве.- М.: Транспорт, 1986. – 149с.
54. Мантель Ф.З. Расход энергии для ремонта битумоминерального дорожного покрытия// Сравнительное исследование фирмы “Виртген” – GmbH, 1988. – 8с.

55. Адорьяни К. Разработка методов оптимизации и технологии приготовления обновленных асфальтобетонных смесей при ремонте покрытий/ Автореферат. дис. ... к.т.н.: 05.23.14. – М.: 1988. –15с.
56. Sekera M., Necas V. Energetika narocjnost vyroby znovpracovych asfaltovych zmesi v obalovniach sprerusovanym cyclom vyrody //Spravodaj VUIS. – 1988.,№3. – p.13-16.
57. Van Der Heide J.J. Le reemploi d'entrobres bitumineux auxPays-Bas.// Techn.rout.-1987. – N1. – p.14-22.
58. Teerbau setzt Mabstabe //Baumasch. Und Bautechn. – 1987. – 34,N 9. – p.396-397.
59. Dubner R., Urban R. Asphaltoberbau und Asphaltfundationss chichten unter Mitverwendung von Ausbauasphalt// Baust.-Recycl. – 1987. – 49, №1. – p.29-34.
60. Сюньи Г.К. Предупреждение деформации асфальтобетонных покрытий // Автодорожник Украины: ежеквартальный научно-технический сборник. – К.: Изд-во «Техника», 1980. – Вып.4 (82). – С.27-28
61. Космін О.В., Жданюк В.К., Васильченко Д.Д. Водостійкість та морозостійкість асфальтов'яжучих на основі вузьких фракцій мінеральних порошоків різної природи // Автошляховик України. – 1999. – № 3. – С.46 – 49.
62. Bonnot J. The sasessment of the performance of semirigid pavement XVIII th World road congress. – Bruxelles 1987 – P. 51-55.
63. Золотарьов В.О., Головенчиць С.Ф., Жданюк В.К., Золотарьов Д.В. Досвід виробничого використання асфальтополімербетону // Автошляховик України. – 1998. – № 4. – С.41 – 43.
64. Краюшкина К. В. Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог: Дис. канд. техн. наук – Вильнюс., 2013. – 220 с.
65. Ільченко В.В. Удосконалення методики оцінки шорсткості дорожнього покриття / В. В. Ільченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2001. – №62 – С. 25-28.

66. ДСТУ 3587-97 Безопасность дорожного движения. Автомобильные дороги, улицы и железнодорожные переезды. Требования к эксплуатационному состоянию

67. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка. Кн. 2 / И. В. Крагельский, В. В. Алисин. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.

68. Князьков А. Н. Разработка методики автоматизированного проектирования нормативов системы технического обслуживания и ремонта автомобилей: Дис. канд. техн. наук – Красноярск., 2004. – 206 с.

69. Борисюк, Н. В. 2004. Влияние вязкости растворов реагентов на величину коэффициента сцепления шины с дорожным покрытием, в Сборник науч. трудов: Строительство и эксплуатация авт. дорог: проблемы и перспективы развития, 108-110 с.

70. System analysis of information reception and processing for driving task, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 6(1): 12-16.

71. Haritonovs, V.; Smirnovs, J.; Naudzuns, J. 2010. Prediction of rutting formation in asphalt concrete pavement, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 5(1): 38-42.

72. Sivilevicius, H.; Vislavicius, K. 2008. Stochastic simulation of the influence of variation of mineral material grading and dose weight on the homogeneity of hot-mix asphalt, Construction and Building Materials 22(9):

73. Сальков Н.А. Математическое моделирование линейных и поверхностных форм автомобильных дорог на подходах к мостам // Прикладные теоретические вопросы проектирования переходов через водотоки: Сб. науч. тр. / МАДИ, – М., 1989. – С.60-66.

75. Павлюк Д. О., Кизима С. С. Врахування залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості при розрахунку довжини шляху гальмування автомобіля // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Випуск 40. – К., Будівельник, 1987. – С. 64-65.

76. Подлих Є. Г. Прибор для измерения шероховатости дорожніх покритій / Автомобильніе дороги – 1968. – №11. – С. 6-8.

77. Рудзит Я.А. Методические вопросы определения микро топографических параметров шероховатых поверхностей / Я.А. Рудзит, Ю.Я. Кризберг // Микрогеометрия и эксплуатационные свойства деталей машин. - Рига: Риж. политехнический ин-т, 1983. – с. 5-9.

78. Семенюк Н.Ф., Сиренко Г.А. Описание топографии анизотропных шероховатых поверхностей трения с помощью модели случайного поля / Н.Ф. Семенюк, Г.А. Сиренко // Трение и износ. – 1980. – Т. I. – № 5. – С. 465-471.

79. Коновалов С.В. Практическая методика расчета нежестких дорожных покрытий с учетом повторности воздействия нагрузок / С.В. Коновалов, М.С. Коганзон; под ред. Н.Н. Иванова. – М.: Высшая школа, 1970. – 219 с.

80 ДСТУ Б В.2.7-75-98. Щєбїнь і гравїї щїльні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови

81 Астров В.А. Исследование сцепления пневматической шины с шероховатым дорожным покрытием в процессе его эксплуатации: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Астров Вадим Александрович – М., 1965. – 20 с.

82 Усовершенствование требований к параметрам покрытий с высокими сцепными качествами и методы измерения скользкости покрытий. Раздел I. Исследование изменения сцепных качеств и динамика износа покрытий на существующих дорогах: отчет о НИР / Ф.К. Андриади, А.Ф. Котвицкий. – М.: СоюздорНИИ, 1983-84. – 86 с.

83. Актанов С.К. Оценка адгезионной составляющей силы сцепления протектора автомобильных колес с дорожным покрытием из каменных материалов / С.К. Актанов, М.В. Немчинов, В.С. Комбалов, В.П. Горелов, П.А. Курапов // Трение и износ. – 1991. –Т.2.- №4 – С. 731-735.

84. Скрипченко О.В. Проблеми відомих математичних моделей взаємодії колеса з поверхнею дорожнього покриття / Скрипченко О.В.,

Белятинський А.О., Краюшкіна К.В. // Наукові нотатки: міжвузівський зб. наук. праць. – Луцьк, ЛНТУ –2014. – Вип. 45. – С. 36-41.

85. Краюшкіна К.В. Особливості моделювання кам'яного матеріалу на поверхні покриття автомобільної дороги / Скрипченко О.В., Краюшкіна К.В. // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник / – К.:НАУ, №2, 2016. – с.79-87.

86. Белятинський А.О. Исследование факторов влияющих на взаимодействие колеса автомобиля с поверхностью автомобильной дороги / Белятинський А.О., Краюшкіна К.В., Скрипченко О.В., Щербакова Г.В. // Наука-будущее Литвы: сб. статей 18-й конф. молодых ученых. Инженерия транспорта и менеджмент. – Литва. Вильнюс: 2015. – С. 130-134.

87. Белятинський А.О. Моделювання процесу взаємодії колеса з поверхнею проїзної частини автомобільної дороги / Белятинський А.О., Краюшкіна К.В., Скрипченко О.В. // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2015» -К.: НАУ, 2015. с.22.8-22.11

88. ДСТУ ГОСТ 25142:2009 Шероховатость поверхности. Термины и определения. – К.: Госпотребстандарт Украины, 2009

89. Comparative study of vehicle tyre-road friction coefficient estimation with a novel cost-effective method Boyuan Li University of Wollongong, bl995@uowmail.edu.au Haiping Du University of Wollongong.

90. Blazejowski Krzysztof. Technologia warstw asfaltowych / Krzysztof Blazejowski, Stanislaw Styk. – Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i łączności, 2004. – 406 p.

91. Bulgin D. Die Reibungs – Eigenschaften von Gummi und die Strapen – Haftung von Reifen / D. Bulgin // Kautchuk und Gummi. Kunststoffe. – 1967. – № 10. – s. 601 – 607.

92. Бажанов Ю.М. Технология бетонов - М., Высшая школа, 1987, – С. 416.

93. Холмянський М.М., Курилин В.В., Эднерал А.Ф. Сталефибробетон с аморфной сеткой – Бетон № 6, – С. 9-10.

94. Талантанова К., Толстеньев С. Композит – сталефибробетон в дорожном строительстве. Автомобильные дороги. – № 9 – 1999 г. – С. 24-25.
95. Мусохранов В.В., Щетинина Е.Н. Проблемы внедрения стеклофибробетона в отечественной практике. Автомобильные дороги. – 1994 – № 5, – С. 12-13.
96. Крагельский И. В. Узлы трения машин / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
97. Михайлов К.В., Евгеньев И.Е., Асланова Л.Г. Применение металлической арматуры в бетоне. Автомобильные дороги. – 1990. – № 4, – С. 5-7.
98. Хачинов М.М. Изменение прочности и трещиностойкости стеклофибробетона при изгибе во времени и различных условиях окружающей среды. Новое в технологии расчета и конструировании железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ – 1987. – С. 79-84.
99. Хайдуков Г.К., Волков И.В., Лагинов М.М. Работа стеклофибробетона тонкостенных элементов при длительном действии нагрузок. Бетон и железобетон. – 1990. - № 9 – С. 15-17.
100. Кураков Д.В., Самодуров В.Н. Способы бетонирования дорожных и аэродромных покрытий: Пат 2209866. – Россия МПК Е 01 с 7/00, 7/32 № 2002103780/03.
101. Zafcate Angt Procede et dispositive de preparation dun mtlange compose de fibrer mineraler et de liantz hudranligner et inoganiguer i Заявка 2558101.
102. Дьяков К.В. Особенности технологии приготовления магниезального базальтофибробетона // Бетон и железобетон. – 2007. – № 3. – с. 18.
103. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови. – К.: Науково-дослідний інститут будівельного виробництва Мінрегіонстоя України (НДІБВ), – 2008

104. Krayushkina K. Perspectives on using basalt fiber filaments in the construction and rehabilitation of highway pavements and airport runways / Krayushkina K., Prentkovskis O., Bieliatynskiy O., Gigineishvili J., Skrypchenko A., Laurinavičius A., Gopalakrishnan K., Tretjakovas J. // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. Vilnius (Lietuva): 2016. – vol. 1, no.2 – p.77 –83.

105. Краюшкіна К.В. The use of basalt fibers in top layer of cement surfaces / Краюшкіна К.В., Скрипченко О.В. // Наука-будущее Литвы: сб. статей 19-й конф. молодых ученых. Инженерия транспорта и менеджмент. – Литва. Вильнюс: 2015. – С. 26-29.

106. Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування ВБН Г.1-218-050-2001

107. ГБН Г.1-218-182:2011 Організаційно-методичні, економічні і технічні нормативи. Ремонт автомобільних доріг загального користування. Види ремонтів та перелік робіт. – К.: ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»). – 2011

108. ДСТУ Б В.2.3-3-2000 «Дороги автомобільні та аеродроми. Методи вимірювань нерівностей основ і покриттів». – М., "СоюздорНИИ" Российской Федерации, – 2000

109. ДСТУ 3587-97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. – К.: НДЦ БДР МВС України; ДержшляхНДІ. – 1997

110. Суміші асфальтобетонні асфальтобетон дорожній та аеродромний Методи випробувань ДСТУ Б В.2.7-XX:201X

111. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина I. Частина II. Київ. – 2015. – 117 с.

112. Краюшкіна К.В. Методологія армування нежорстких дорожніх конструкцій / Краюшкіна К.В., Химерик Т.Ю., Скрипченко О.В. // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво / – Полтава: ПНТУ, № 2 (47), 2016. – с. 278-289.

113. Szudio Antoni. Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, Wymia rowanie, Realizacja / Antoni Szudio. – Krakow: Polski Cement Sp. Z o. o., 2004 – 287 p.

114. Santerey R. Pavement characteristics and skid resistance / R. Santerey, P.M.W. Ebsenaar, J. Reichert // TRRL Supplementary Report. – Vol. 622. – 1976. – P. 1-25. 177. Wright N. Recent developments in surface dressing in United Kingdom / N. Wright // TRRL Supplementary Report 486, 1979. – P. 1-20.

115. ВСН 21-83 «Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог» – М.: Транспорт, 1985. – 125 с.

116. СОУ 42.1-37641918-085:2012 Правила определения стоимости работ по эксплуатационному содержанию автомобильных дорог общего пользования, мостов и других транспортных сооружений. С изменением № 1

Додаток А

Моделювання кам'яного матеріалу на поверхні покриття автомобільної
дороги

Номер виміру	Фракція	b	c	h	r	коефіцієнт	Радіус при вершині кута	Показник лещадності
1	10	10	10	8,66	5,773503	1,154734	2,886751	8,660254
2	10	9,95651	9,95651	8,61	5,75669	1,16144	2,876665	8,633356
3	10	9,913304	9,913304	8,56	5,739841	1,168224	2,85973	8,599572
4	10	9,870162	9,870162	8,51	5,72287	1,175088	2,842547	8,565417
5	10	9,827085	9,827085	8,46	5,705774	1,182033	2,825112	8,530886
6	10	9,784074	9,784074	8,41	5,688554	1,189061	2,807418	8,495972
7	10	9,741129	9,741129	8,36	5,671207	1,196172	2,789462	8,460669
8	10	9,698252	9,698252	8,31	5,653733	1,203369	2,771238	8,424972
9	10	9,655444	9,655444	8,26	5,636131	1,210654	2,752741	8,388872
10	10	9,612705	9,612705	8,21	5,618398	1,218027	2,733967	8,352365
11	10	9,570037	9,570037	8,16	5,600535	1,22549	2,714908	8,315443
12	10	9,527439	9,527439	8,11	5,582539	1,233046	2,695561	8,2781
13	10	9,484914	9,484914	8,06	5,56441	1,240695	2,675919	8,240329
14	10	9,442463	9,442463	8,01	5,546146	1,248439	2,655977	8,202122
15	10	9,400085	9,400085	7,96	5,527745	1,256281	2,635729	8,163474
16	10	9,357783	9,357783	7,91	5,509207	1,264223	2,615169	8,124376
17	10	9,315557	9,315557	7,86	5,49053	1,272265	2,594291	8,084821
18	10	9,273408	9,273408	7,81	5,471713	1,28041	2,573089	8,044803
19	10	9,231338	9,231338	7,76	5,452755	1,28866	2,551558	8,004313
20	10	9,189347	9,189347	7,71	5,433654	1,297017	2,529691	7,963344
21	10	9,147437	9,147437	7,66	5,414408	1,305483	2,507481	7,921889
22	10	9,105608	9,105608	7,61	5,395017	1,31406	2,484922	7,879939
23	10	9,063862	9,063862	7,56	5,375479	1,322751	2,462007	7,837487
24	10	9,0222	9,0222	7,51	5,355793	1,331558	2,438731	7,794524
25	10	8,980624	8,980624	7,46	5,335957	1,340483	2,415087	7,751043
26	10	8,939133	8,939133	7,41	5,315969	1,349528	2,391067	7,707036
27	10	8,89773	8,89773	7,36	5,295829	1,358696	2,366665	7,662494
28	10	8,856416	8,856416	7,31	5,275535	1,367989	2,341875	7,617409
29	10	8,815191	8,815191	7,26	5,255085	1,37741	2,316689	7,571773
30	10	8,774058	8,774058	7,21	5,234478	1,386963	2,2911	7,525578
31	10	8,733018	8,733018	7,16	5,213712	1,396648	2,265102	7,478814
32	10	8,692071	8,692071	7,11	5,192786	1,40647	2,238687	7,431474
33	10	8,65122	8,65122	7,06	5,171699	1,416431	2,211849	7,383549
34	10	8,610465	8,610465	7,01	5,150449	1,426534	2,184581	7,33503
35	10	8,569807	8,569807	6,96	5,129034	1,436782	2,156876	7,28591
36	10	8,52925	8,52925	6,91	5,107452	1,447178	2,128726	7,236179
37	10	8,488793	8,488793	6,86	5,085704	1,457726	2,100126	7,18583
38	10	8,448438	8,448438	6,81	5,063785	1,468429	2,071068	7,134853

39	10	8,408186	8,408186	6,76	5,041696	1,47929	2,041545	7,083241
40	10	8,36804	8,36804	6,71	5,019434	1,490313	2,011551	7,030986
41	10	8,328001	8,328001	6,66	4,996998	1,501502	1,98108	6,978079
42	10	8,28807	8,28807	6,61	4,974387	1,512859	1,950125	6,924512
43	10	8,248248	8,248248	6,56	4,951598	1,52439	1,91868	6,870278
44	10	8,208538	8,208538	6,51	4,92863	1,536098	1,886739	6,815369
45	10	8,168941	8,168941	6,46	4,905482	1,547988	1,854296	6,759778
46	10	8,129459	8,129459	6,41	4,882151	1,560062	1,821347	6,703498
47	10	8,090093	8,090093	6,36	4,858636	1,572327	1,787884	6,646521
48	10	8,050845	8,050845	6,31	4,834936	1,584786	1,753905	6,588841
49	10	8,011716	8,011716	6,26	4,811049	1,597444	1,719405	6,530453
50	10	7,97271	7,97271	6,21	4,786972	1,610306	1,684378	6,47135
51	10	7,933826	7,933826	6,16	4,762705	1,623377	1,648822	6,411528
52	10	7,895068	7,895068	6,11	4,738246	1,636661	1,612734	6,35098
53	10	7,856437	7,856437	6,06	4,713592	1,650165	1,576111	6,289703
54	10	7,817935	7,817935	6,01	4,688743	1,663894	1,538951	6,227694

Вимірювання площі контакту шини з поверхнею проїзної частини

1. Запустити CannyEdgeDet.exe
2. Помістити зображення, на якому необхідно віділити границі до каталогу з файлом CannyEdgeDet.exe.
3. Вказати "верхній" та "нижній" пороги.
4. Нажати на кнопку "Розрахунок".
5. Відкрити текстовий файл "my_file.txt", в якому зберігаються усі розрахунки.

```

||Radius is 2.93 pix || S of circle is 27.00 pix || S of area is 48.60 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 1.60 pix || S of circle is 8.00 pix || S of area is 14.40 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 3.87 pix || S of circle is 47.00 pix || S of area is 84.60 pix||
||Radius is 3.09 pix || S of circle is 30.00 pix || S of area is 54.00 pix||
||Radius is 13.62 pix || S of circle is 583.00 pix || S of area is 1049.40 pix||
||Radius is 3.74 pix || S of circle is 44.00 pix || S of area is 79.20 pix||
||Radius is 2.82 pix || S of circle is 25.00 pix || S of area is 45.00 pix||
||Radius is 9.03 pix || S of circle is 256.00 pix || S of area is 460.80 pix||
||Radius is 3.43 pix || S of circle is 37.00 pix || S of area is 66.60 pix||
||Radius is 8.02 pix || S of circle is 202.00 pix || S of area is 363.60 pix||
||Radius is 3.57 pix || S of circle is 40.00 pix || S of area is 72.00 pix||
||Radius is 3.39 pix || S of circle is 36.00 pix || S of area is 64.80 pix||
||Radius is 2.82 pix || S of circle is 25.00 pix || S of area is 45.00 pix||
||Radius is 2.82 pix || S of circle is 25.00 pix || S of area is 45.00 pix||
||Radius is 3.09 pix || S of circle is 30.00 pix || S of area is 54.00 pix||
||Radius is 3.78 pix || S of circle is 45.00 pix || S of area is 81.00 pix||
||Radius is 3.29 pix || S of circle is 34.00 pix || S of area is 61.20 pix||
||Radius is 3.43 pix || S of circle is 37.00 pix || S of area is 66.60 pix||
||Radius is 4.65 pix || S of circle is 68.00 pix || S of area is 122.40 pix||
||Radius is 22.10 pix || S of circle is 1535.00 pix || S of area is 2763.00 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 11.91 pix || S of circle is 446.00 pix || S of area is 802.80 pix||
||Radius is 1.26 pix || S of circle is 5.00 pix || S of area is 9.00 pix||
||Radius is 3.61 pix || S of circle is 41.00 pix || S of area is 73.80 pix||
||Radius is 4.18 pix || S of circle is 55.00 pix || S of area is 99.00 pix||
||Radius is 3.34 pix || S of circle is 35.00 pix || S of area is 63.00 pix||
||Radius is 2.65 pix || S of circle is 22.00 pix || S of area is 39.60 pix||
||Radius is 3.19 pix || S of circle is 32.00 pix || S of area is 57.60 pix||
||Radius is 3.57 pix || S of circle is 40.00 pix || S of area is 72.00 pix||

```

	Radius is 4.51 pix		S of circle is 64.00 pix		S of area is 115.20 pix	
	Radius is 3.70 pix		S of circle is 43.00 pix		S of area is 77.40 pix	
	Radius is 8.12 pix		S of circle is 207.00 pix		S of area is 372.60 pix	
	Radius is 5.97 pix		S of circle is 112.00 pix		S of area is 201.60 pix	
	Radius is 4.62 pix		S of circle is 67.00 pix		S of area is 120.60 pix	
	Radius is 3.95 pix		S of circle is 49.00 pix		S of area is 88.20 pix	
	Radius is 2.82 pix		S of circle is 25.00 pix		S of area is 45.00 pix	
	Radius is 2.88 pix		S of circle is 26.00 pix		S of area is 46.80 pix	
	Radius is 3.74 pix		S of circle is 44.00 pix		S of area is 79.20 pix	
	Radius is 3.70 pix		S of circle is 43.00 pix		S of area is 77.40 pix	
	Radius is 3.29 pix		S of circle is 34.00 pix		S of area is 61.20 pix	
	Radius is 3.04 pix		S of circle is 29.00 pix		S of area is 52.20 pix	
	Radius is 10.36 pix		S of circle is 337.00 pix		S of area is 606.60 pix	
	Radius is 3.34 pix		S of circle is 35.00 pix		S of area is 63.00 pix	
	Radius is 3.14 pix		S of circle is 31.00 pix		S of area is 55.80 pix	
	Radius is 5.70 pix		S of circle is 102.00 pix		S of area is 183.60 pix	
	Radius is 3.09 pix		S of circle is 30.00 pix		S of area is 54.00 pix	
	Radius is 3.43 pix		S of circle is 37.00 pix		S of area is 66.60 pix	
	Radius is 7.61 pix		S of circle is 182.00 pix		S of area is 327.60 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 3.57 pix		S of circle is 40.00 pix		S of area is 72.00 pix	
	Radius is 3.91 pix		S of circle is 48.00 pix		S of area is 86.40 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 3.09 pix		S of circle is 30.00 pix		S of area is 54.00 pix	
	Radius is 13.36 pix		S of circle is 561.00 pix		S of area is 1009.80 pix	
	Radius is 4.55 pix		S of circle is 65.00 pix		S of area is 117.00 pix	
	Radius is 5.64 pix		S of circle is 100.00 pix		S of area is 180.00 pix	
	Radius is 9.01 pix		S of circle is 255.00 pix		S of area is 459.00 pix	
	Radius is 6.08 pix		S of circle is 116.00 pix		S of area is 208.80 pix	
	Radius is 10.52 pix		S of circle is 348.00 pix		S of area is 626.40 pix	
	Radius is 5.44 pix		S of circle is 93.00 pix		S of area is 167.40 pix	
	Radius is 3.29 pix		S of circle is 34.00 pix		S of area is 61.20 pix	
	Radius is 5.08 pix		S of circle is 81.00 pix		S of area is 145.80 pix	
	Radius is 3.29 pix		S of circle is 34.00 pix		S of area is 61.20 pix	
	Radius is 3.61 pix		S of circle is 41.00 pix		S of area is 73.80 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 10.48 pix		S of circle is 345.00 pix		S of area is 621.00 pix	
	Radius is 2.99 pix		S of circle is 28.00 pix		S of area is 50.40 pix	
	Radius is 5.08 pix		S of circle is 81.00 pix		S of area is 145.80 pix	
	Radius is 4.44 pix		S of circle is 62.00 pix		S of area is 111.60 pix	
	Radius is 2.99 pix		S of circle is 28.00 pix		S of area is 50.40 pix	
	Radius is 4.07 pix		S of circle is 52.00 pix		S of area is 93.60 pix	
	Radius is 2.33 pix		S of circle is 17.00 pix		S of area is 30.60 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 2.88 pix		S of circle is 26.00 pix		S of area is 46.80 pix	

	Radius is 6.58 pix		S of circle is 136.00 pix		S of area is 244.80 pix	
	Radius is 12.24 pix		S of circle is 471.00 pix		S of area is 847.80 pix	
	Radius is 2.76 pix		S of circle is 24.00 pix		S of area is 43.20 pix	
	Radius is 4.72 pix		S of circle is 70.00 pix		S of area is 126.00 pix	
	Radius is 7.86 pix		S of circle is 194.00 pix		S of area is 349.20 pix	
	Radius is 5.05 pix		S of circle is 80.00 pix		S of area is 144.00 pix	
	Radius is 2.65 pix		S of circle is 22.00 pix		S of area is 39.60 pix	
	Radius is 4.72 pix		S of circle is 70.00 pix		S of area is 126.00 pix	
	Radius is 2.93 pix		S of circle is 27.00 pix		S of area is 48.60 pix	
	Radius is 5.47 pix		S of circle is 94.00 pix		S of area is 169.20 pix	
	Radius is 4.95 pix		S of circle is 77.00 pix		S of area is 138.60 pix	
	Radius is 4.33 pix		S of circle is 59.00 pix		S of area is 106.20 pix	
	Radius is 3.29 pix		S of circle is 34.00 pix		S of area is 61.20 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 3.14 pix		S of circle is 31.00 pix		S of area is 55.80 pix	
	Radius is 10.98 pix		S of circle is 379.00 pix		S of area is 682.20 pix	
	Radius is 2.88 pix		S of circle is 26.00 pix		S of area is 46.80 pix	
	Radius is 6.96 pix		S of circle is 152.00 pix		S of area is 273.60 pix	
	Radius is 4.72 pix		S of circle is 70.00 pix		S of area is 126.00 pix	
	Radius is 10.06 pix		S of circle is 318.00 pix		S of area is 572.40 pix	
	Radius is 4.48 pix		S of circle is 63.00 pix		S of area is 113.40 pix	
	Radius is 3.09 pix		S of circle is 30.00 pix		S of area is 54.00 pix	
	Radius is 8.18 pix		S of circle is 210.00 pix		S of area is 378.00 pix	
	Radius is 2.71 pix		S of circle is 23.00 pix		S of area is 41.40 pix	
	Radius is 3.66 pix		S of circle is 42.00 pix		S of area is 75.60 pix	
	Radius is 5.81 pix		S of circle is 106.00 pix		S of area is 190.80 pix	
	Radius is 2.99 pix		S of circle is 28.00 pix		S of area is 50.40 pix	
	Radius is 5.32 pix		S of circle is 89.00 pix		S of area is 160.20 pix	
	Radius is 12.93 pix		S of circle is 525.00 pix		S of area is 945.00 pix	
	Radius is 4.62 pix		S of circle is 67.00 pix		S of area is 120.60 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 6.08 pix		S of circle is 116.00 pix		S of area is 208.80 pix	
	Radius is 3.19 pix		S of circle is 32.00 pix		S of area is 57.60 pix	
	Radius is 3.09 pix		S of circle is 30.00 pix		S of area is 54.00 pix	
	Radius is 3.09 pix		S of circle is 30.00 pix		S of area is 54.00 pix	
	Radius is 6.10 pix		S of circle is 117.00 pix		S of area is 210.60 pix	
	Radius is 5.35 pix		S of circle is 90.00 pix		S of area is 162.00 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 13.83 pix		S of circle is 601.00 pix		S of area is 1081.80 pix	
	Radius is 3.87 pix		S of circle is 47.00 pix		S of area is 84.60 pix	
	Radius is 5.29 pix		S of circle is 88.00 pix		S of area is 158.40 pix	
	Radius is 4.95 pix		S of circle is 77.00 pix		S of area is 138.60 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 4.07 pix		S of circle is 52.00 pix		S of area is 93.60 pix	
	Radius is 3.83 pix		S of circle is 46.00 pix		S of area is 82.80 pix	

	Radius is 9.32 pix		S of circle is 273.00 pix		S of area is 491.40 pix	
	Radius is 15.44 pix		S of circle is 749.00 pix		S of area is 1348.20 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 2.93 pix		S of circle is 27.00 pix		S of area is 48.60 pix	
	Radius is 3.24 pix		S of circle is 33.00 pix		S of area is 59.40 pix	
	Radius is 5.23 pix		S of circle is 86.00 pix		S of area is 154.80 pix	
	Radius is 6.18 pix		S of circle is 120.00 pix		S of area is 216.00 pix	
	Radius is 3.39 pix		S of circle is 36.00 pix		S of area is 64.80 pix	
	Radius is 4.03 pix		S of circle is 51.00 pix		S of area is 91.80 pix	
	Radius is 14.15 pix		S of circle is 629.00 pix		S of area is 1132.20 pix	
	Radius is 18.90 pix		S of circle is 1122.00 pix		S of area is 2019.60 pix	
	Radius is 3.09 pix		S of circle is 30.00 pix		S of area is 54.00 pix	
	Radius is 2.93 pix		S of circle is 27.00 pix		S of area is 48.60 pix	
	Radius is 10.25 pix		S of circle is 330.00 pix		S of area is 594.00 pix	
	Radius is 3.78 pix		S of circle is 45.00 pix		S of area is 81.00 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 2.88 pix		S of circle is 26.00 pix		S of area is 46.80 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 3.29 pix		S of circle is 34.00 pix		S of area is 61.20 pix	
	Radius is 3.19 pix		S of circle is 32.00 pix		S of area is 57.60 pix	
	Radius is 3.39 pix		S of circle is 36.00 pix		S of area is 64.80 pix	
	Radius is 2.99 pix		S of circle is 28.00 pix		S of area is 50.40 pix	
	Radius is 7.07 pix		S of circle is 157.00 pix		S of area is 282.60 pix	
	Radius is 4.15 pix		S of circle is 54.00 pix		S of area is 97.20 pix	
	Radius is 2.99 pix		S of circle is 28.00 pix		S of area is 50.40 pix	
	Radius is 6.82 pix		S of circle is 146.00 pix		S of area is 262.80 pix	
	Radius is 3.19 pix		S of circle is 32.00 pix		S of area is 57.60 pix	
	Radius is 3.83 pix		S of circle is 46.00 pix		S of area is 82.80 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 4.51 pix		S of circle is 64.00 pix		S of area is 115.20 pix	
	Radius is 6.70 pix		S of circle is 141.00 pix		S of area is 253.80 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 3.78 pix		S of circle is 45.00 pix		S of area is 81.00 pix	
	Radius is 3.48 pix		S of circle is 38.00 pix		S of area is 68.40 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 3.14 pix		S of circle is 31.00 pix		S of area is 55.80 pix	
	Radius is 5.44 pix		S of circle is 93.00 pix		S of area is 167.40 pix	
	Radius is 3.99 pix		S of circle is 50.00 pix		S of area is 90.00 pix	
	Radius is 1.26 pix		S of circle is 5.00 pix		S of area is 9.00 pix	
	Radius is 3.87 pix		S of circle is 47.00 pix		S of area is 84.60 pix	
 Sum of circle is 17411.00, Sum of area is 31339.80

Додаток В

Результати вимірювання коефіцієнта зчеплення на дослідній ділянці

Місце виміру ПК+...	Значення коефіцієнта зчеплення у напрямку руху				Значення коэф. зч. у напрямку руху
	в прямому		в зворотньому		
	f_1	f_2	f_1	f_2	
1	2	3	4	5	6
До укладання тонкошарового покриття					
ПК 0+00	0,30	0,30	0,30	0,29	0,31
ПК 0+50	0,29	0,30	0,31	0,33	
ПК 1+50	0,32	0,33	0,38	0,35	
ПК 2+00	0,30	0,27	0,34	0,32	
ПК 2+50	0,31	0,29	0,35	0,36	
ПК 3+00	0,32	0,33	0,35	0,32	
ПК 3+50	0,31	0,29	0,30	0,30	
ПК 4+00	0,33	0,37	0,35	0,36	
ПК 4+50	0,38	0,32	0,31	0,34	
ПК 5+00	0,31	0,34	0,29	0,30	
18.03.15					
ПК 0+00	0,46	0,47	0,45	0,46	0,46
ПК 0+50	0,47	0,45	0,47	0,46	
ПК 1+50	0,45	0,45	0,46	0,47	
ПК 2+00	0,46	0,47	0,45	0,46	
ПК 2+50	0,47	0,45	0,46	0,47	
ПК 3+00	0,45	0,45	0,47	0,46	
ПК 3+50	0,46	0,47	0,45	0,46	
ПК 4+00	0,47	0,45	0,47	0,46	
ПК 4+50	0,46	0,47	0,45	0,46	
ПК 5+00	0,46	0,45	0,47	0,46	
14.05.15					
ПК 0+00	0,47	0,47	0,48	0,46	0,47
ПК 0+50	0,48	0,45	0,45	0,46	
ПК 1+50	0,45	0,48	0,48	0,47	
ПК 2+00	0,46	0,47	0,45	0,46	
ПК 2+50	0,47	0,47	0,46	0,45	
ПК 3+00	0,45	0,48	0,47	0,46	
ПК 3+50	0,48	0,47	0,45	0,47	
ПК 4+00	0,47	0,47	0,48	0,46	

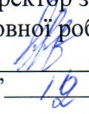
Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6
ПК 4+50	0,46	0,48	0,45	0,46	0,47
ПК 5+00	0,46	0,45	0,47	0,48	
15.10.15					
ПК 0+00	0,48	0,47	0,45	0,47	0,47
ПК 0+50	0,47	0,47	0,48	0,46	
ПК 1+50	0,46	0,48	0,45	0,46	
ПК 2+00	0,46	0,45	0,47	0,48	
ПК 2+50	0,46	0,47	0,45	0,46	
ПК 3+00	0,47	0,47	0,46	0,45	
ПК 3+50	0,47	0,47	0,48	0,46	
ПК 4+00	0,46	0,48	0,45	0,46	
ПК 4+50	0,48	0,45	0,45	0,46	
ПК 5+00	0,46	0,48	0,45	0,46	
20.01.16					
ПК 0+00	0,47	0,47	0,46	0,45	0,47
ПК 0+50	0,47	0,47	0,48	0,46	
ПК 1+50	0,46	0,48	0,45	0,46	
ПК 2+00	0,46	0,48	0,45	0,46	
ПК 2+50	0,46	0,47	0,45	0,46	
ПК 3+00	0,47	0,47	0,46	0,45	
ПК 3+50	0,47	0,47	0,48	0,46	
ПК 4+00	0,46	0,48	0,45	0,46	
ПК 4+50	0,48	0,47	0,45	0,47	
ПК 5+00	0,47	0,47	0,48	0,46	
16.03.16					
ПК 0+00	0,46	0,48	0,45	0,46	0,47
ПК 0+50	0,46	0,47	0,45	0,46	
ПК 1+50	0,47	0,47	0,46	0,45	
ПК 2+00	0,48	0,47	0,45	0,47	
ПК 2+50	0,47	0,47	0,48	0,46	
ПК 3+00	0,46	0,48	0,45	0,46	
ПК 3+50	0,46	0,45	0,47	0,48	
ПК 4+00	0,46	0,47	0,45	0,46	
ПК 4+50	0,47	0,47	0,46	0,45	

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

“ПОГОДЖЕНО”

Проректор з навчальної та
виховної роботи


Т.В. Іванова
“22” 10 2016 р.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Т.в.о. проректор з наукової роботи


О.К. Юдін
М.П. «17» 10 2016 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Скрипченко Олександри В'ячеславівни на тему
«Підвищення зчіпних властивостей асфальтобетонних покриттів
автомобільних доріг» навчально-виховний процес
Національного авіаційного університету

Члени комісії у складі д.т.н., професора, відповідального за науково-методичну роботу
НН ІАП НАУ Белятинського А.О., к.т.н., проф. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
Ждановича М.П., к.т.н., доц. кафедри РААШ НН ІАП НАУ Пилипенка О.І., к.т.н., доц.
кафедри РААШ НН ІАП НАУ Степанчука О.В., склали цей акт про те, що у Національному
авіаційному університеті при викладанні дисциплін «Інноваційні матеріали для будівництва
доріг та аеродромів» та «Дорожні та аеродромні покриття», при виконанні курсових та
дипломних робіт студентів за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» впроваджено
результати дисертаційної роботи Скрипченко О.В., а саме:

- методику обробки зображень за методом комп'ютерного зору;
- технологію нанесення цементної суміші на існуюче асфальтобетонне покриття;
- модель поверхні дорожнього покриття з урахуванням динаміки погіршення шорсткості під впливом автотранспорту, що надало можливість урахувати параметри шорсткості при підборі оптимального складу цементної суміші.

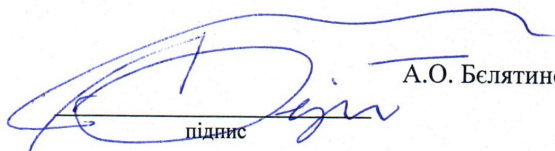
Комісія у складі :

	А.О. Белятинський	д.т.н., проф., відповідальний за науково-методичну роботу НН ІАП НАУ
	М.П. Жданович	к.т.н., проф. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
	О.І. Пилипенко	к.т.н., доц. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
	О.В. Степанчук	к.т.н., доц. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
Голова комісії	А.О. Белятинський	д.т.н., проф., відповідальний за науково-методичну роботу НН ІАП НАУ
Члени комісії	М.П. Жданович	к.т.н., проф. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
	О.І. Пилипенко	к.т.н., доц. кафедри РААШ НН ІАП НАУ
	О.В. Степанчук	к.т.н., доц. кафедри РААШ НН ІАП НАУ


яка діє на підставі розпорядженням директора інституту аеропортів Національного авіаційного університету від «25» 11 2016р. № П10.01/330, засвідчує, що результати дисертаційної роботи Скрипченко Олександри В'ячеславівни за темою «Підвищення зчіпних властивостей асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг» впроваджені у навчальний процес кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів:


- шляхом використання у курсах лекцій з дисциплін («Інноваційні матеріали для будівництва доріг та аеродромів», «Дорожні та аеродромні покриття»);
- впроваджено методику, лабораторні роботи, у дипломних роботах та інше.


Голова комісії


підпис А.О. Белятинський

Члени комісії:


підпис М.П. Жданович


підпис О.І. Пилипенко


підпис О.В. Степанчук

Затверджую:

Директор ДФ ДП «Укрдіпродор» -
«Дніпродіпродор»Кривченко Ю.Ю.
« 26.08.2011 р.

Акт

**про впровадження результатів дисертаційної роботи
Скрипченко Олександри В'ячеславівни на тему «Підвищення зчїпних
властивостей асфальтобетонних покриттів
автомобільних доріг»**

Ми, що нижче підписались у складі головний інженер Кармазин О.В., головний інженер проекту Коломійченко Т.П., старший науковий співробітник ДП «ДерждорНДІ» Краюшкіна К.В., аспірант кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів НАУ Скрипченко О.В. склали цей акт про те, що при розробці проектної документації будівництва, реконструкції та ремонтів автомобільних доріг використовуються результати дисертаційної роботи Скрипченко О.В. на тему «Підвищення зчїпних властивостей асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг», а саме спосіб відновлення шорсткості поверхні проїзної частини автомобільних доріг загального користування.

Головний інженер

Кармазин О.В.

Головний інженер проекту

Коломійченко Т.П.

Старший науковий співробітник

ДП «ДерждорНДІ»

Краюшкіна К.В.

Аспірант кафедри РААШ НАУ

Скрипченко О.В.

Затверджую:

Головний інженер проекту Хмельницького
ВКП ДП «Укрдінродор»

Бакуліч А.М.

« _____ » 201 р.

Акт

**про впровадження результатів дисертаційної роботи
Скрипченко Олександрі В'ячеславівни
на тему «Підвищення зчіпних властивостей асфальтобетонних покриттів
автомобільних доріг»**

Ми, що нижче підписались у складі інженер I категорії Коваль Т.Р., начальник групи Харчук О.І., старший науковий співробітник ДП «ДерждорНД» Краюшкіна К.В., аспірант кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів НАУ Скрипченко О.В. склали цей акт про те, що при виконанні робіт з ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг використовуються результати дисертаційної роботи Скрипченко О.В. на тему «Підвищення зчіпних властивостей асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг», а саме спосіб відновлення шорсткості поверхні проїзної частини та склад цементної суміші для відновлення шорсткості поверхні проїзної частини та спосіб визначення площі контакту протектору шини з поверхнею проїзної частини автомобільних доріг загального користування.

Склад суміші для відновлення шорсткості поверхні проїзної частини та спосіб визначення площі контакту потектору шини з поверхнею проїзної частини використовується у роботі відділу експлуатації доріг під час виконання робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Інженер I категорії
Начальник групи
Старший науковий співробітник
ДП «ДерждорНД»
Аспірант кафедри РААШ НАУ

Коваль Т.Р.
Харчук О.І.

Краюшкіна К.В.
Скрипченко О.В.

Затверджую:

Директор КФ ТД «Пальміра» Холостенко Р.В.



Акт

про проведення досліджень транспортно-експлуатаційних показників ділянки проїзної частини на виробничій базі за адресою вул. Крижанівського, 8 з шорстким тонкошаровим цементним покриттям

Мы, що нижче підписалися, керівник проектів і програм ТД «Пальміра» Семененко В.С., доцент кафедри РААШ ННІАП НАУ, к.т.н. Краюшкіна К.В., доцент кафедри РААШ ННІАП НАУ, к.т.н. Химерик Т.Ю., аспірант кафедри РААШ Скрипченко ОВ, провідний інженер відділу конструкцій дорожніх одягів ДП «ДерждорНДІ» Заяц В.К., склали дійсний акт про будівництво дослідної ділянки з тонкошарового цементного покриття, побудованої в березні 2015 року згідно рекомендацій викладених в дисертаційній роботі Скрипченко О.В.: «Підвищення зчепних властивостей асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг». Періодичне обстеження проводилось протягом 2015-2016 років.

Дослідження покриття дослідної ділянки включало:

- вимірювання рівності шорсткого тонкошарового цементного покриття;
- визначення величини коефіцієнта зчеплення.

Візуальний огляд дослідної ділянки площиною 2157 м², товщиною шару 2 см, після її експлуатації протягом 1,5 року показав, що стан покриття гарний, відсутні вибоїни, напливи і хвилі, не спостерігається утворення колійності. На всій протяжності тріщин та викришувань кам'яного матеріалу немає.

Вимірювання показника рівності тонкошарового цементного покриття за допомогою триметрової рейки показали, що показники рівності на всьому протязі дослідної ділянки, повністю задовольняють нормативним значенням.

Дослідження коефіцієнту зчеплення впродовж 1,5 року показує, що по своїм середнім значенням коефіцієнт зчеплення після укладання суміші становить 0,47, що відповідає вимогам ДСТУ 3587-97 «Безпека дорожнього руху. Автомобільні

дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану». Важливо, що за період експлуатації взимку не відбулось зменшення коефіцієнту зчеплення.

Крім цього, на шорсткому тонкошаровому цементному покритті через стабільність коефіцієнта зчеплення і високий показник рівності протягом 1,5 року експлуатації можливо не влаштовувати поверхневої обробки.

Таким чином, експлуатація автомобільних доріг з шорсткими тонкошаровими цементними покриттями дає певний економічний ефект, який складається з наступних основних складових:

- продовження термінів служби шорстких тонкошарових цементних покриттів між капітальними та поточними ремонтами і значне зниження витрат на їх виробництво;
- відсутність необхідності влаштування поверхневої обробки через високі показників рівності та величини коефіцієнта зчеплення в період тривалої експлуатації;
- підвищення безпеки руху автомобілів за рахунок високих транспортно-експлуатаційних показників (міцності, рівності, коефіцієнта зчеплення).

Керівник проектів і програм
ТД «Пальміра»

Семененко В.С.

Менеджер проектів

Мовчан В.Ю.

доцент кафедри
РААШ ННІАП НАУ

Краюшкіна К.В.

доцент кафедри
РААШ ННІАП НАУ

Химерик Т.Ю.

Ведучий інженер
сектора

Заяц В.К.

аспірант кафедри
РААШ ННІАП НАУ

Скрипченко О.В.