

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра автомобільних доріг, основ та фундаментів

03-03-130М

Методичні вказівки
до самостійної роботи з дисципліни
«Технологія ремонтно-відновлювальних робіт»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою
«Автомобільні дороги та аеродроми» спеціальності 192
«Будівництво та цивільна інженерія»
усіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
навчально-наукового інституту
будівництва та архітектури
Протокол № 1 від 29 серпня 2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни **«Технологія ремонтно-відновлювальних робіт»** для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автомобільні дороги та аеродроми» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання [Електронне видання] / Кузло М. Т. – Рівне : НУВГП, 2023. – 33 с.

Укладач: Кузло М. Т., докт. техн. наук, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів.

Відповідальний за випуск: Кузло М. Т., докт. техн. наук, завідувач кафедри автомобільних доріг, основ та фундаментів.

Керівник групи забезпечення
ОПІ «Автомобільні дороги
та аеродроми»

Кузло М. Т.

© М. Т. Кузло, 2023
© НУВГП, 2023

Зміст

Вступ	4
1. Струменево-ін'єкційна технологія ремонту	5
2. Технологія влаштування захисних мембран 1.Обґрунтування номенклатури робіт з реконструкції дороги 1.1.Прогноз руху на ділянці дороги 1.2. Відповідність технічного стану дороги вимогам руху 1.3.Номенклатура робіт з реконструкції дороги	7
3. Технологія інфрачервоної регенерації асфальтобетону	10
4. Ремонт асфальтобетонних покриттів з використанням холодних асфальтобетонних сумішей	11
4.1. Загальні відомості	11
4.2. Технологія виробництва холодного асфальтобетону	12
4.3. Технологія ремонту асфальтобетонних покриттів із застосуванням холодного асфальтобетону	14
5. Технології ресайклінгу дорожніх одягів	16
5.1. Загальні положення	16
5.2. Технології холодного ресайклінгу дорожніх одягів	17
5.3. Технології гарячого ресайклінгу асфальтобетону	19
Список літератури	33

Вступ

Від стану дорожнього покриття залежать такі показники, як швидкість і собівартість перевезень, витрата пального, комфортність і безпека дорожнього руху загалом. Тому для дорожньо-транспортного комплексу України, де зазвичай нормативні міжремонтні терміни не витримуються, своєчасне проведення ремонтних робіт набуває особливої актуальності.

Ремонтують асфальтобетонне покриття різними методами, засобами і матеріалами, що разом визначають якість, термін служби і вартість, тобто ефективність ремонтних робіт. Головна мета ремонтних робіт - забезпечити на експлуатованій дорозі безпечний рух автомобільного транспорту зі встановленим швидкісним режимом. Необхідно розглядати методи і засоби механізації ремонту залежно від стадії руйнування і класифікації доріг.

Конкретну технологію ремонту вибирають за такими вимогами і критеріями:

- висока якість ліквідації дефектів, відповідність показникам щільності, міцності, рівності і шорсткості основної частини покриття;
- забезпечення нормативного терміну експлуатації відремонтованих ділянок;
- наявність необхідних матеріалів, машин і механізмів для виконання ремонту за обраною технологією;
- відповідність рівня складності реалізації обраної технології ремонту погодним умовам провадження робіт;
- оперативність відкриття руху транспорту на місці проведення робіт;
- низька вартість або висока економічність ремонтних робіт.

Протягом багатьох років дорожньо-ремонтні роботи розглядалися як сезонний процес, що залежить від кліматичних чинників, насамперед температури повітря. Сьогодні актуальним завданням залишається забезпечення можливості цілорічного проведення робіт з будівництва і ремонту дорожніх асфальтобетонних покриттів і підвищення їх довговічності.

До найпрогресивніших технологій ремонту асфальтобетонних покриттів належать:

- струменево-ін'єкційна технологія;
- технологія терморегенерації асфальтобетону;
- влаштування тріщинопереривних мембран;
- ямковий ремонт холодними органо-мінеральними сумішами.

1. Струменево-ін'єкційна технологія ремонту

Струменево-ін'єкційна технологія ліквідації ямковості на дорожніх покриттях сьогодні є однією з найпрогресивніших в Україні, водночас в країнах Європи і в Америці її успішно застосовують вже достатньо давно. До ремонтно-експлуатаційних робіт, які виконують за цією технологією, належать: шпарування вибоїн, просідань, проломів, тріщин і швів.

Сутність струменево-ін'єкційної технології полягає в тому, що всі необхідні операції виконуються робочим органом однієї машини (установки) самохідного або причіпного типу - пневмо-гідравлічною гарматою. Завдяки цьому досягають високої продуктивності праці - до 500 м² у зміну відремонтованого покриття. Цей метод характеризується одночасним або роздільним подаванням повітря та компонентів бітумомінеральної суміші трубопроводом до робочого органу машини.

Технологія проведення робіт з ямкового ремонту покриття є такою.

1. Орієнтація машини за шириною покриття біля ділянки, що ремонтується.
2. Очищення місця ремонту стислим повітрям (до 0,5 МПа) - видалення пилу, бруду, мулистих відкладень тощо.
3. Оброблення місця руйнування бітумною емульсією.
4. Заповнення дефекту дрібним щебенем, обробленим бітумною емульсією в камері змішування машини, під тиском 0,02 МПа.
5. Оброблення поверхні зашпарованого руйнування бітумною емульсією.
6. Остаточне засипання поверхні необробленою щебеневою сумішшю. Додавання мінерального матеріалу значно скорочує період розпаду емульсії і робить поверхню менш пористою.
7. Короткочасний догляд для стабілізації відремонтованої ділянки.

Підготовка вибоїни до ремонту зводиться до її ретельного очищення від пилу, сміття і вологи шляхом продування високошвидкісним струменем повітря і до оброблення поверхні вибоїни бітумною емульсією. Операції вирубування або фрезерування асфальтобетону навколо вибоїни за цією технологією можуть не проводитися.

Шпарують вибоїни, заповнюючи її дрібним щебенем, обробленим бітумною емульсією в камері змішування машини. Оскільки подають щебінь повітряним струменем, він укладається до вибоїни дуже швидко, добре ущільнюється, тому немає необхідності додатково використовувати віброплити і віброкатки.

Для ямкового ремонту за струменево-ін'єкційною холодною технологією рекомендується використовувати чистий кубоподібний щебінь фракції 5-15 (20) мм і швидкорозпадну катіоноактивну (для кислих кам'яних порід) і аніоноактивну (для основних кам'яних порід) бітумну емульсію 60-70 мас.%

концентрації. Заздалегідь у лабораторії перевіряють адгезію бітуму до щебеню і час розпаду емульсії, який не повинен перевищувати 25-30 хв. За необхідності слід вносити корективи до складу емульсії та адгезійних добавок.

Витрата емульсії вказаної концентрації для оброблення вибоїн і оброблення щебеню в камері змішування машини орієнтовано становить 3-5 мас.% щебеню.

Всі елементи і агрегати можуть стаціонарно монтуватися на базовій вантажівці або легкому причепі. У деяких випадках можливо їх об'єднати на окремій рамі у вигляді навісного модуля. В Україні налагоджено виробництво такого обладнання за назвою УЯР-01.

Такі агрегати і машини передбачають вихід ремонтера-машиніста з кабіни транспортного засобу для виконання ямкового ремонту позаду автомобіля або причепа. Згодом цю технологію і схему виконання робіт дещо удосконалено. Зокрема, пневмогідролічну гармату, що подає матеріали до вибоїни, встановлюють попереду автомобіля і закріплюють на легкій стрілі гідроманіпулятора, яка здатна видовжуватись, складатися і горизонтально повертатися, обслуговуючи певний сектор покриття. Пульти управління всіма операціями розміщено в кабіні вантажівки, і водію-ремонттеру немає потреби покидати своє робоче місце. Він шпарує вибоїни з кабіни протягом 20-30 с.

Струменево-ін'єкційну технологію можна використовувати упродовж майже всього року. Досвід впровадження цієї технології в Україні, а також практика його використання в США, Англії і Швеції показують, що міцного і довговічного шпарування вибоїни можна досягти навіть за температури повітря до мінус 10 °С за умови використання зимового обладнання.

Доглядають за укладеним покриттям, регулюючи і обмежуючи швидкість руху транспортного потоку. Не рекомендується проводити ці ремонтні роботи під час дощу та снігопаду, коли складно або навіть неможливо очистити вибоїни від вологи, пилу і сміття та обробити її бітумною емульсією.

Дослідження і досвід роботи протягом декількох останніх років (переважно в США) показали, що для якості ямкового ремонту чистота і сухість вибоїни відіграють важливішу роль, ніж навіть температура матеріалу і зовнішнього повітря. Тому струменево-ін'єкційну технологію останнім часом якісно вдосконалено, зокрема очищення і сушіння вибоїни продуванням високошвидкісним струменем повітря замінено на вакуумне очищення. Високопродуктивний вакуумний насос відсмоктує з вибоїн сміття, пил і вологу. Поверхня стає сухішою і чистішою, ніж після звичайного підмітання або продування стиснутим повітрям.

Оброблення бітумною емульсією і заповнення вибоїни щебенем, обробленим емульсією, за вакуумно-струменево-ін'єкційною технологією аналогічне таким самим операціям за струменево-ін'єкційною технологією. Зазвичай так ремонтують вибоїни в початковій стадії руйнування покриттів, тобто переважно невеликого розміру (діаметр не більший за 40-60 см і глибина до 5 см), хоча немає принципових застережень і перешкод для ремонту вибоїн і карт більшого розміру.

Струменево-ін'єкційна технологія є ефективним способом механізації ямкового ремонту і за своєю сутністю аналогічна методу торкретування під час бетонних опоряджувальних робіт. Розробники методу і устаткування на підставі досвіду його використання в 25 штатах США дають гарантію на 3-річний термін експлуатації відремонтованих місць.

2. Технологія влаштування захисних мембран

Ще у 50-ті роки минулого сторіччя у США і Великій Британії проводили експерименти із застосуванням проміжних мембранних шарів завтовшки 50-75 мм з використанням бітуму, модифікованого синтетичним латексом, гумовим порошком і крихтами натурального каучуку в кількості 5 мас.%. з метою протидії репродукції тріщин. Проте відчутно кількість відображених тріщин не зменшувалася, лише уповільнювався темп їх зростання. В Нідерландах було розроблено технологію "намивання мембран" на ушкоджене асфальтобетонне покриття.

Останніми роками усе частіше застосовують технологію, розроблену понад 15 років тому в США - влаштування "мембран, що поглинають напруження" з подальшим укладанням зверху захисного шару із полімерасфальтобетону.

Якісні характеристики в'язучого є визначальними для властивостей асфальтобетону захисного шару. У Держдор НДІ (м. Київ) було підібрано склад бітумополімерного в'язучого для мембран (табл. 1).

Таблиця .1

Орієнтовані склади бітумополімерного в'язучого із заданими властивостями залежно від вихідних матеріалів (за даними ДерждорНДІ)

Кількість полімеру на основі СБС, %	Пластифікатор, %			
	ЕФОМ	ЕСОМ	Мазут М-100	Гудрон
4,0-5,0	15-18	15-18	30-40	50-60
4,0-5,0	10-15	10-15	20-30	40-50
4,0-5,0	5-10	5-10	10-20	30-40

Однією з основних властивостей бітумополімерного в'язучого, що застосовується в мембранній технології, є високий ступінь еластичності в

широкому температурному діапазоні. Ця властивість передається асфальтобетону і сприяє підвищенню його стійкості до утворення відображених тріщин. Враховуючи особливості роботи захисних шарів, важливе значення у підвищенні деформативності асфальтобетонної суміші має гранулометричний склад асфальтобетону та розмір максимальної фракції щебеню. Встановлено, що початкова пористість асфальтобетонної суміші захисного шару повинна бути в межах 15-20 об.% з врахуванням подальшого їх заповнення бітумополімерним в'язучим мембрани.

Нежорсткий каркас разом з бітумополімерним в'язучим забезпечує підвищення деформативності асфальтобетону порівняно з традиційним за температури 20 °С удвічі, а за мінус 20 °С -у 5 разів. Розтягувальні напруження захисного шару знаходяться в нижній його частині, у зоні безпосереднього контакту зі старим покриттям. У процесі укладання суміші та її подальшого ущільнення в'язуче мембрани проникає в пори асфальтобетонної суміші, збільшуючи тим самим її деформативність.

Відтак необхідно, щоб асфальтобетон мав таку пористість, яка б забезпечувала проникнення в нього потрібної кількості бітумополімерного в'язучого з мембранного шару. Це повинно забезпечити високі деформативні властивості асфальтобетону в нижній зоні, що межує із старим покриттям.

За результатами проведених Держдор НДІ досліджень встановлено вимоги до властивостей асфальтобетону захисного шару, який укладається на мембрану. Показники фізико-механічних характеристик такого асфальтобетону наведено у табл. 2. Висунутим вимогам відповідають асфальтобетонні суміші з максимальним розміром щебеню 10 мм (тип АЗШ-10) та 15 мм (тип АЗШ-15) із вмістом спеціального модифікованого бітуму 4,5 - 5,5 мас.%.
Таблиця.2

Показники фізико-механічних характеристик асфальтобетону (за даними ДерждорНДІ)

Найменування показника	Значення показника
Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом	18-22
Водонасичення, % за об'ємом	4-8
Набухання, % за об'ємом, не більше	1,0
Границя міцності при стиску, МПа, При температурі 20 °С	1,8
При температурі 50 °С	0,8
Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні після 14 діб, не менше	0,75

Ремонтуючи тріщинуваті асфальтобетонні покриття за мембранною технологією, необхідно дотримуватись такої технологічної послідовності:

- підготовчі роботи;
- оброблення поверхні покриття, що ремонтується;
- влаштування мембрани;
- влаштування технологічного шару із щебеню, обробленого бітумом;
- прикатка цього щебеню;
- влаштування шару зносу із асфальтобетонної суміші;
- ущільнення асфальтобетонної суміші.

Підготовчий етап містить роботи з очищення покриття від пилу і бруду, роботи з усунення колій та вибоїн. Крім того, підготовчий етап передбачає організацію руху транспорту під час виконання ремонтних робіт.

Обробляти поверхню старого покриття слід бітумною емульсією із застосуванням автогудронаторів, якими розливають бітумну емульсію з нормою 0,5-0,6 л/м². У разі обробки поверхні рідким бітумом або гудроном норма розливу становить 0,2-0,3 л/м². При цьому робоча температура в'язучого повинна бути не нижчою за 140 °С.

Влаштування мембрани передбачає роботи з розподілення модифікованого бітуму з використанням автогудронаторів, які забезпечують рівномірний розподіл в'язучого з нормою витрат в'язучого 2,1-2,6 л/м². Робоча температура в'язучого повинна бути в межах 170-180 °С.

Безпосередньо після влаштування мембрани вкладають технологічний шар із щебеню фракції 10-15 мм, обробленого бітумом у кількості 0,4-0,6 % від маси щебеню. Технологічний шар запобігає пошкодженню мембрани під час руху автомобілів, які транспортують асфальтобетонну суміш, та асфальтоукладальної техніки під час укладання захисного шару. Розподіляють щебень за допомогою щебенерозподільних машин, які забезпечують рівномірне розсіпання з нормою витрат щебеню 8-10 кг/м². Термін між розливанням в'язучого і влаштуванням технологічного шару із щебеню, обробленого бітумом, не повинен перевищувати однієї хвилини. Прокатку технологічного шару здійснюють котками на пневмоходу масою 5-8 т за 2-3 проходи по одному сліду.

Захисні шари із полімерасфальтобетонної суміші укладають не пізніше ніж протягом двох діб після влаштування мембрани і технологічного шару. Полімерасфальтобетонну суміш виготовляють згідно з ДБН В.2.3-4. Ущільнюють полімерасфальтобетонну суміш у два етапи: попередньо гладковальцями котками масою 5-8 т і доущільнення котками масою понад 10 т. Рекомендована товщина захисного шару - 3-4 см.

Укладений полімерасфальтобетон розігріває в'язуче, яке під час ущільнення перерозподіляється у його складі так, що в зоні дії дотичних температурних напружень його найбільше - це гарантує максимальну

деформативність укладеного захисного шару в зоні контакту із старим покриттям, сприяє збереженню цілісності полімерасфальтобетону над тріщинами та деформаційними швами старого покриття.

Іншу технологію захисту ушкодженого асфальтобетонного покриття розроблено в Нідерландах під назвою "намивання мембран". За цією технологією використовують спеціальні пересувні установки, які монтуються на вантажному автомобілі і складаються із змішувача неперервної дії, бункерів для мінеральних матеріалів і цистерни для бітумної емульсії. Віддозовані пісок і дрібний щебінь подаються у змішувач, де об'єднуються з бітумною емульсією. Згодом ретельно перемішана суміш надходить у розподільчо-розбризувальний пристрій, який рухається на колесах або лижах за вантажівкою, наноситься на ушкоджене покриття (тріщини, вибоїни) і вигладжується гумовою стрічкою. Суміш ущільнюється під час руху транспортних засобів. Середня витрата матеріалів за цією технологією становить 4-6 кг/м.

Під час намивання мембран необхідно, щоб поверхня асфальтобетонного покриття була чистою і сухою, а температура повітря становила від 5 до 40 °С. Рух транспортних засобів відкривають приблизно через 20 хвилин після влаштування мембрани.

3. Технологія інфрачервоної регенерації асфальтобетону

За цим методом немає необхідності фрезерувати ушкоджений асфальтобетон, вирішується проблема ремонту навколо люків (колодязів підземних комунікацій), проблема ремонту дефектів, що утворилися упоперек дорожнього полотна, значно скорочуються витрати на матеріали, знижується залежність від погодних умов.

Використовується інфрачервоний нагрівач асфальтобетонного покриття компанії "KM International" або схожий. Залежно від типорозміру установки за 8-10 хвилин можна відремонтувати від 0,5 до 5 м² поверхні дороги.

Цей метод ремонту поділяють на чотири етапи):

1. Розігрівання ушкодженого асфальтобетонного покриття. Встановлюють нагрівач над місцем ремонту. Пристрій плавно нагріває асфальтобетон на ремонтваній ділянці і навколо неї до температури 150-180 °С, тобто температури, з якою новий асфальтобетон надходить із заводу. Плавне нагрівання, контролювання температури і відсутність відкритого полум'я запобігають вигорянню бітуму.

2. Усунення дефектів покриття. Граблями розпушують розігріту поверхню, додають необхідну кількість свіжого матеріалу (це може бути як гарячий, так і холодний асфальтобетон), потім граблями ретельно

перемішують матеріал. Для покращення властивостей додають пластифікатор з розрахунку 0,1-0,2 кг/м².

3. Ущільнення. Ущільнюють поверхню ручним віброкатком або вібротрамбовкою.

4. Оброблення праймером. Для додаткового захисту від вологи обробляють відремонтовану поверхню праймером.

Простота та універсальність, які притаманні інфрачервоному устаткуванню, дають змогу ремонтній бригаді цілорічно швидко виконувати завдання, пов'язані з усуненням дефектів дорожніх покриттів.

Інфрачервона регенерація є надійним і привабливим методом ремонту асфальтобетонних покриттів, під час якого регенерується існуючий асфальтобетон. З огляду на вартість асфальтобетону, витрати на транспортування і перероблення старого матеріалу, цей варіант стає все привабливішим альтернативним способом ремонту.

4. Ремонт асфальтобетонних покриттів з використанням холодних асфальтобетонних сумішей

4.1. Загальні відомості

Холодні асфальтобетонні суміші застосовують під час ремонту дорожніх асфальтобетонних покриттів всіх типів, а також для влаштування покриттів на дорогах місцевої мережі з невисокою інтенсивністю руху. Особливістю використання таких сумішей є можливість проведення будівельних і ремонтних робіт за нижчих температур повітря, ніж це допускається із застосуванням гарячих асфальтобетонних сумішей. Актуальним завданням сьогодні є забезпечення можливості цілорічного проведення робіт з будівництва і ремонту дорожніх асфальтобетонних покриттів і підвищення їх довговічності. Однією з переваг цієї технології є можливість заготовляти суміш про запас, що дасть змогу проводити ремонтні роботи взимку та ранньою весною.

Класичний холодний асфальтобетон є різновидом асфальтобетону, що готується в гарячому стані, але укладається в холодному вигляді. Для його приготування використовували середньо- і повільногустіючі бітуми марок СГ 70/130 або МГ 70/130 за ГОСТ 119558. Отримують такі бітуми переважно шляхом розрідження в'язких бітумів дизельним паливом, гасом чи маслами. Для запобігання злежуваності готової суміші вміст бітуму в них на 20 мас.% менший за оптимальний, а для підвищення міцності готової суміші вводили підвищену кількість мінерального порошку (на 15-20 мас.% більше за оптимальну).

Сьогодні застосовують холодні асфальтобетони на бітумних емульсіях.

Найбільшого поширення такі бетони набули у Франції, Німеччині, Польщі. Так, французькі фірми "Скрег" і "Колас" для приготування холодних асфальтобетонних сумішей використовують емульсії катіонного типу. Для підвищення якості бетону емульсії готують на розрідженому легкими розчинниками бітумі, крім того, до складу емульсії вводять 2-3 мас.% латексу натурального каучуку. З метою підвищення терміну зберігання готову суміш пакують у поліетиленові мішки. Запатентована холодна суміш на бітумних емульсіях аніонного або катіонного типу містить мінеральний заповнювач крупністю 0-14 мм неперервної гранулометрії, синтетичні волокна (0,05-0,5 мас.%) та добавки, що регулюють терміни формування (цемент або водні розчини катіонних ПАР). У Польщі для зниження температури замерзання води до складу емульсії вводять хлористий кальцій. У результаті емульсійну суміш використовують і для зимового ямкового ремонту.

У Німеччині холодний асфальтобетон випускає фірма "Ромекс". Фірма розробила емульсію за назвою Repasphalt-koncentrat. Для приготування асфальтобетонної суміші використовуються мінеральні матеріали з переривчастою гранулометриєю такого складу: щебінь фракції 2-5 мм - 65 мас%; подрібнений пісок фракції 0,2-2 мм - 24 мас%; решта - тонкодисперсний наповнювач.

4.2. Технологія виробництва холодного асфальтобетону

Холодний асфальтобетон виготовляють на асфальтобетонному заводі за циклічно-потоковою схемою, яку зазвичай доповнюють додатковими процесами з дроблення кам'яних матеріалів для отримання необхідного гранулометричного складу мінеральної суміші і дозування води, наприклад, за допомогою бачка дозування або водоміра, встановленого на водопровідній трубі (рис. 2.9). Для рівномірного розподілення води в змішувачі встановлюють трубу з отворами діаметром 10-15 мм із кроком 50 мм.

Заздалегідь віддозовані мінеральні матеріали (з вологістю, яка дорівнює проектній або нижча за неї) без підігріву і висушування подають у змішувач. У випадку, якщо вологість матеріалу перевищує проектну, його слід підігріти в сушильному барабані до температури 60-90 °С. За необхідності в суміш додають активатор, дозуючи його після мінеральних матеріалів. За вологості мінеральних матеріалів, нижчої за проектну, до змішувача вводять необхідну кількість води і перемішують протягом 5-10 с.

Холодний асфальтобетон виготовляють, використовуючи як кам'яний матеріал високоміцний подрібнений висушений щебінь без будь-яких

домішок, який має кутасту форму зерен з шорсткою поверхнею. Це необхідно для підвищення внутрішнього тертя і заклинювання зерен мінеральних матеріалів, що частково компенсує зменшення міцності асфальтобетону внаслідок пониженого зчеплення при використанні рідких бітумів. Зернові склади мінеральної частини суміші добирають за принципом щільної суміші, при цьому орієнтовний вміст частинок, дрібніших за 0,071 мм, в суміші 3-12 мас.% (табл. 3). Перед подаванням у змішувач температура щебеню повинна бути не більшою за 100 °С. У разі застосування кислих мінеральних матеріалів до суміші вводять вапно або цемент, а в бітум слід додавати адгезійні добавки.

Як рідкі в'язучі застосовують нафтові залишкові бітуми або розріджені бітуми, а також катіонні бітумні емульсії на пластифікованому бітумі із середньою швидкістю розпаду.

Умовну в'язкість в'язучих (за віскозиметром з отвором 5 мм за температури 60 °С) для проведення робіт влітку приймають у межах 60-100 с, для робіт навесні або восени - у межах 20-60 с.

Таблиця.3

Зерновий склад мінеральної частини холодної асфальтобетонної суміші

Сита з розміром отворів, мм	Кількість часток мінеральної частини, дрібніших за розмір зерен, % за масою		
	0-5 мм	0-10 мм	0-15 мм
15	-	-	95-100
10	-	95-100	45-70
5	95-100	25-50	20-70
2,5	5-25	5-25	5-25
1,25	5-15	5-15	5-15
0,63	4-10	4-10	4-10
0,315	3-6	5-6	3-6
0,14	2-5	2-5	2-5
0,071	0-4	0-4	0-4

Орієнтовний вміст бітумного в'язучого в суміші 4-8 мас.% (понад 100 % маси мінеральної частини). В'язуче за робочої температури (70-90 °С) дозують в змішувач за один прийом. Час перемішування суміші становить 25-50 с.

Останньою операцією є додавання у змішувач після закінчення перемішування щебеню і бітуму спеціальної добавки. Її додають у кількості 25...35 мас.% від маси використаного бітуму, що спричиняє утворення на поверхні бітуму своєрідної захисної плівки. Утворення

плівки запобігає затвердінню бітуму під час збереження готової суміші. Під час проведення робіт плівка руйнується, контактуючи з повітряним середовищем, чим забезпечується необхідна пластичність матеріалу.

Подавати і дозувати добавку в холодну асфальтобетонну суміш можна, використовуючи ті самі дозувальні пристрої, які використовують для адгезивів. Подавати добавку безпосередньо в бітумну лінію категорично забороняється. Подача повинна проводитися безпосередньо в змішувач по окремому рукаву. Час перемішування після внесення добавки становить 20-25 с. Після того, як перемішування буде завершено, холодний асфальтобетон готовий до застосування.

Готову суміш вивантажують в автомобіль-самоскид і вивозять до місця виробництва робіт. Суміші на бітумних емульсіях можна упаковувати в герметичну тару і зберігати на складі у відкритих штабелях. Термін зберігання в герметичній тарі - до шести місяців, в штабелях - до трьох місяців.

Вимоги до ущільненої холодної асфальтобетонної суміші такі: водонасичення пористих сумішей повинне бути в межах 5-12 об.%, щільних - не вище 5 об.%. Міцність при стиску за температури 20 °С сухих зразків повинна бути не меншою за 1 МПа, коефіцієнт водостійкості - не менший за 0,7.

Допустима температура суміші на карбонатних матеріалах при складуванні її в штабель для тривалого зберігання повинна бути не вищою за 40 °С, при цьому суміш може зберігатися в штабелі, не вищому за 2 м, до шести місяців. Суміш на гранітному піску дозволяється зберігати в штабелі заввишки до 4 м протягом 1 року. Щоб уникнути перезволоження суміші, її бажано накрити будь-яким водонепроникним матеріалом.

4.3. Технологія ремонту асфальтобетонних покриттів із застосуванням холодного асфальтобетону

Ремонтні роботи з усунення вибоїн можна здійснювати з використанням традиційних складованих холодних асфальтобетонних сумішей за температури повітря, не нижчої за мінус 10 °С, при цьому сніг або дрібний несильний дощ не є перешкодою для ремонту. На ділянках з інтенсивністю руху понад 1000 авт./добу необхідно застосовувати суміші щільного типу, до 1000 авт./добу допускається використання і пористих сумішей. Вибоїну завглибшки до 3 см необхідно поглибити до 5 см за допомогою перфоратора або мотобетонолома. У разі глибини вибоїни понад 10 см нижню її частину заповнюють необробленим щебенем або щебенем, обробленим органічним в'язучим з трамбуванням. Дно і стінки вибоїни перед укладанням суміші очищають від бруду, ретельно промивають

водою, після чого воду видаляють і заповнюють асфальтобетонною сумішшю. У цьому разі дно і стінки вибоїни не ґрунтують. Заповнення сумішшю ведуть поступово з трамбуванням і з деяким запасом за висотою, з огляду на подальше ущільнення транспортними засобами цей запас становить орієнтовно 1,0-1,5 см на 5 см глибини вибоїни. Остаточо відремонтовану ділянку ущільнюють пневмокотком за 3-5 проходів по одному сліду. Рух по дорозі можна відкривати відразу після проведення ремонтних робіт.

Формується структура матеріалу протягом 3-30 діб залежно від погодних умов та інтенсивності руху транспортних засобів. Досвід експлуатації показує, що на ділянках, відремонтованих у несприятливі за погодними умовами періоди року, "латки" переважно не витримують більше року. Вищої якості робіт досягають, використовуючи холодні асфальтобетонні суміші на основі бітумних емульсій або бітумів, що містять розчинники.

Під час укладання холодної асфальтобетонної суміші не потрібно кваліфікованої робочої сили і спеціальної техніки; її можна доставляти до місця ремонту невеликими партіями (у багажнику легкового автомобіля). Отже, можна проводити оперативний ремонт за утворення незначних вибоїн, не даючи їм збільшуватися.

Досвід застосування холодної складованої асфальтобетонної суміші для ямкового ремонту асфальтобетонних покриттів на автодорогах загального користування показав, що незаперечною перевагою цієї технології є те, що технологічний процес потребує участі 4-6 робітників, а роботи з ущільнення - мінімальної кількості техніки.

Основними перевагами холодних складованих асфальтобетонних сумішей є:

- цілорічність використання;
- тривалий термін зберігання;
- екологічність (мінімальний парниковий ефект);
- мінімальне використання трудовитрат;
- простота технології виконання робіт (не потрібна дорога і високотехнологічна дорожно-будівельна техніка);
- оперативність;
- введення в експлуатацію відремонтованого асфальтобетонного покриття відразу після завершення ремонтних робіт.

Недоліками цієї технології, окрім високої ціни складованої холодної суміші, є менший опір зсуву, що не дає змоги її застосовувати для ремонту дорожнього полотна в місцях гальмування, на перехрестях і автобусних зупинках.

Оптимальним варіантом є використання холодної складованої суміші для оперативного ремонту покриттів на початковій стадії руйнування при

від'ємних температурах повітря і невеликих площах ремонтovanого покриття.

Застосування холодної складованої суміші для оперативного ремонту покриттів істотно знижує витрати на ремонтні роботи у найнесприятливіші за погодними умовами періоди року, зменшити об'єми руйнувань на покриттях і підвищити безпеку дорожнього руху.

Незалежність від погодних умов та інші переваги роблять технологію холодної асфальтобетонної суміші гідним конкурентом традиційній гарячій технології.

5. Технології ресайклінгу дорожніх одягів

Одним із перспективних напрямів вирішення проблеми покращення стану дорожньої мережі є застосування технологій ресайклінгу, теоретичні розробки і практичний досвід використання яких дають змогу досягти істотних технічного, економічного та екологічного ефектів. Обмежені запаси мінеральних ресурсів, нестача земельних площ, намагання зменшити негативний вплив на довкілля стимулювали в останнє десятиріччя впровадження цих технологій в практику реконструкції та ремонту автомобільних доріг, зокрема, і в Україні.

5.1. Загальні положення

До найпоширеніших застосовуваних *методів відновлення* дорожнього одягу належать такі.

1. Повна реконструкція, коли ремонтують і посилюють дорожній одяг водночас із зміною геометричних параметрів автомобільної дороги.
2. Нарощування нових шарів дорожнього одягу, переважно з матеріалів, укріплених в'язучими.
3. Ресайклінг на всю глибину ушкодженого дорожнього одягу з влаштуванням нового гомогенного шару, міцність і несуча здатність якого зростають внаслідок додавання мінеральних матеріалів і в'язучих. Можливе перекриття влаштованого шару додатковими конструктивними шарами або шаром зносу.
4. Комбінація різних способів ресайклінгу: "на дорозі" - коли матеріал основи дорожнього одягу використовують для приготування нової суміші, яку відразу вкладають, і "на заводі" - коли фрезерований асфальтобетонний шар вивозять на АБЗ, переробляють і надалі у вигляді нової суміші укладають на шар регенованого матеріалу. Цей метод дає змогу докорінно переробити існуючий дорожній одяг.

Вибір того чи іншого методу відновлення дорожнього одягу залежить від

конкретних умов будівництва, наявності ресурсів і поставленої мети, проте незаперечні переваги технологій ресайклінгу схиляють шальки терезів при прийнятті рішень саме на їх бік.

Ресайклінг розуміють як перероблення і повторне використання матеріалів наявного дорожнього одягу зі зміною або без зміни властивостей цих матеріалів.

Концепція ресайклінгу дорожніх одягів як спосіб їх відновлення, відносно нова. В серпні 1995 року фірма A.A. Loudon & Partnes випустила першу книгу під назвою "Холодний ресайклінг - технічні рекомендації і вказівки щодо застосування" (Cold deep in-place recycling - technical recommendations and applications). Другу публікацію "Холодний ресайклінг" підготувала фірма A.A. Loudon & Partnes і видала Wirtgen GmbH у 2002 р. Вона розроблена як керівництво із застосування холодного ресайклінгу нежорстких дорожніх покриттів безпосередньо на будівельному майданчику.

Основною метою ресайклінгу дорожнього одягу є покращення його властивостей та експлуатаційних характеристик покриття внаслідок:

- перетворення зношеного та неоднорідного дорожнього одягу на стійку і одноріднішу конструкцію;
- підвищення несучої здатності дорожнього одягу загалом до рівня, що відповідає вимогам руху;
- покращення міцнісних властивостей, зниження водопроникності та підвищення ерозійної стійкості;
- захист основи та нижніх шарів дорожнього одягу.

Ресайклінг покриттів конкурує з класичною технологією відновлення, що полягає у перекритті наявного покриття асфальтобетоном, ЛЕМС тощо. Проте ресайклінг вигідно відрізняється повторним використанням наявних матеріалів, меншою зміною відміток поверхні, мінімізацією транспортних витрат.

5.2. Технології холодного ресайклінгу дорожніх одягів

5.2.1. Переваги технології холодного ресайклінгу

Технологія холодного ресайклінгу отримала світове визнання за розвиток ідей терморегенерації. Ця технологія містить такі операції:

- розпушування наявного дорожнього одягу на певну глибину;
- додавання в'язучого (цементу та/або бітумної емульсії) і води (для гідратації, перемішування та ущільнення);
- введення, у разі потреби, мінеральних матеріалів для коригування зернового складу або інших цілей та добавок ПАР;

- профілювання та ущільнення шару.

Перевагами холодного ресайклінгу є:

1. Відсутність забруднення довкілля завдяки повному використанню матеріалу існуючого дорожнього одягу за мінімізації обсягів перевезень нових матеріалів і площ для відвалів.
2. Висока якість регенованого шару внаслідок послідовного високоякісного змішування місцевих матеріалів із водою і в'язучими.
3. Отримання укріплених шарів значної товщини, що відрізняються гомогенністю матеріалу і забезпечують структурну цілісність дорожнього одягу.
4. Збереження цілісності ґрунту, оскільки під час ресайклінгу ґрунт ушкоджується менше порівняно із застосуванням традиційних дорожньо-будівельних машин для реконструкції і ремонту доріг завдяки виконанню всіх технологічних операцій за один прохід ресайклера.
5. Скорочення тривалості дорожньо-будівельних робіт завдяки високій продуктивності сучасних комплексів машин для ресайклінгу.
6. Високий рівень безпеки дорожнього руху, оскільки всі робочі машини, що виконують ресайклінг, розташовуються в межах однієї смуги руху, а відтак для руху завжди залишається друга смуга.

Наведені переваги разом роблять холодний ресайклінг найпривабливішою технологією для відновлення дорожніх одягів за критерієм "вартість/ефективність".

5.2.2. Види і сутність холодного ресайклінгу

Ресайклінг на значну глибину використовують для посилення ушкодженого дорожнього одягу з метою продовження терміну його експлуатації, для підсилення ушкоджених дорожніх одягів з асфальтобетонними шарами різної товщини. Подальше нанесення захисних шарів на регенований шар підвищує експлуатаційні властивості дороги. Типова глибина ресайклінгу перевищує 150 мм.

Ресайклінг на малу глибину зазвичай виконують для закриття тріщин в асфальтобетонних шарах і покращання їх експлуатаційних властивостей, а також для відновлення одягів із невеликим строком служби. Ресайклінг в цьому випадку виконують на глибину 80-150 мм. Запобігаючи проникненню води в шари основи, збільшують строк служби дорожнього одягу.

Реконструкція щебених і гравійних доріг шляхом оброблення кам'яного матеріалу бітумною емульсією або спіненим бітумом з подальшим нанесенням тонкого щебеневого або іншого захисного шару. Перевагами цього способу є відсутність пилу під час руху транспорту в сухий період і

безпечні умови руху в дощову погоду з меншою ймовірністю втрати стійкості транспортними засобами. Глибина ресайклінгу цього типу зазвичай дорівнює 100-150 мм. Укріплюють гравійні дороги додаванням цементу або гашеного вапна з отриманням шару завтовшки приблизно 200 мм.

Для відновлення ушкоджених дорожніх одягів найрентабельнішими методами ремонту вважаються такі, що враховують конкретні умови будівництва, що меншою мірою характерно для будівництва нових доріг. Тому дуже важливо вибрати технологію, що враховує стан і якість матеріалів дорожньої конструкції. З погляду строку експлуатації дорожнього одягу найважливішими характеристиками, які повинен забезпечити ресайклінг, вважають якість матеріалів в готовому регенерованому шарі і товщину регенерованого шару.

Види ресайклінгу обумовлюють використання відповідного набору декількох машин, різних типів в'язучих, різні витрати на виконання робіт. В Україні для ремонту доріг з огляду на можливість їх фінансування найефективнішим є ресайклінг на малу глибину.

Головна машина механізованої ланки, що використовується в "холодних" технологіях - ресайклер, основним робочим органом якого є фрезерно-змішувальний барабан з великою кількістю спеціальних різців. Обертаючись проти напрямку руху машини, він руйнує і подрібнює матеріал дорожнього одягу.

Під час руху машини з обертним фрезерно-змішувальним барабаном в його змішувальну камеру впорскується вода, яка подається гнучким шлангом з автоцистерни. Кількість води точно дозується насосом із мікропроцесорним управлінням, барабан ретельно перемішує її з подрібненим матеріалом. Вологість отриманої суміші повинна бути оптимальною з погляду ущільнення. В'язучі в рідкому стані - такі, як цементно-водна суспензія або бітумна емульсія окремо або в комбінації подаються безпосередньо до змішувальної камери. Крім цього, через окрему розподільчу рампу до змішувальної камери може подаватися спінений бітум. Порошкоподібні в'язучі, наприклад, гашене вапно зазвичай розподіляють перед ресайклером на поверхню дороги. Ресайклер, фрезуючи дорожній одяг разом із порошкоподібним в'язучим, за один прохід перемішує його з подрібненим матеріалом і водою. Надалі шар профілюють автогрейдером і ущільнюють котками.

5.2.3. Обладнання для холодного ресайклінгу

Залежно від мети ресайклінгу і типу в'язучого склад ланки машин для

ресайклингу змінюється. Головна машина механізованої ланки - ресайклер - буксує або штовхає зчеплені з ним машини. Найширшу гаму ресайклерів сьогодні представляє компанія [Wirtgen](#).

Ресайклери на колісному ході [Wirtgen](#) WR 2000 і [Wirtgen](#) WR 2500 SK використовують здебільшого для ресайклингу існуючих дорожніх одягів, переважно верхніх асфальтобетонних шарів і частини шарів основи з укріплених або неукріплених матеріалів. Ці високопродуктивні ресайклери оснащують насосними системами і двома розподільчими рампами, що дає змогу працювати з усіма типами в'язучих.

Ресайклер WR 2500 SK має вбудований розподільувач для вапна і цементу, що встановлюється безпосередньо перед змішувальною камерою фрезерно-змішувального барабану. Розподільувач вносить порошкоподібне в'язуче без утворення пилу, що сприяє збереженню довкілля. Крім ресайклингу дорожніх одягів, WR 2500 SK використовують для стабілізації ґрунту.

Ресайклер на гусеничному ході Wirtgen 2200 CR створено на базі високопродуктивної холодної фрези W 2200. Оснащений повним набором насосів і розподільчих рамп, він може ефективно виконувати значні обсяги робіт, насамперед там, де дорожній одяг складається з декількох асфальтобетонних шарів. Крім цього, Wirtgen 2200 CR оснащується робочим органом для ущільнення регенованого шару, що здебільшого не вимагає профілювання грейдером після ресайклингу.

До основних переваг ресайклера Wirtgen WR 4200 належать:

- робоча ширина до 4,20 м дає змогу за один прохід обробляти дорожній одяг на всю ширину без утворення поздовжнього шва;
- робоча ширина може змінюватися в межах від 2,80 до 4,20 м у процесі ресайклингу;
- змішування відбувається в двовальному змішувачі примусової дії продуктивністю 400 т/год, при чому якість суміші відповідає якості, якої досягають в стаціонарних установках;
- робочий орган для ущільнення укладає суміш з необхідним профілем шару.

Для попереднього ущільнення ресайклер оснащується як трамбувальним брусом, так і вібратором WR 4200 ефективно перемішує матеріал, сфрезований по всій робочій ширині і подрібнений висувними фрезерними барабанами, після чого він надходить у змішувач і перемішується з водою та в'язучими. Отриману суміш залишають на дорозі і розподіляють по ширині шнеком. Шар регенованого матеріалу за ресайклером попередньо ущільнюють важким віброкатком, після чого профілюють автогрейдером і остаточно ущільнюють вібро- і пневмокатками. Цей тип ресайклера ефективний для реалізації великих будівельних проектів.

Чинники, що впливають на вибір обладнання і технології провадження робіт:

- інтенсивність руху на дорозі (міській вулиці), що потребує ремонту, несуча здатність дороги, можливість виконання робіт не тільки вдень, але і вночі; вимоги стандартів до якості кінцевого продукту (відремонтованої дороги);

- кліматичні, топологічні і геологічні умови будівництва;

- наявність матеріалів для ресайклінгу, насамперед, в'язучих матеріалів.

Враховуючи швидкісний характер виконання ресайклінгу (зазвичай приймають денний об'єм робіт приблизно 5000 м), для реалізації потенціалу технології холодного ресайклінгу необхідна ретельна підготовка робіт і система оперативного управління.

5.2.4. Ресайклінг із застосуванням мінеральних в'язучих

Вапно, цемент та їх суміші з золою виносу, доменним шлаком та іншими подібними матеріалами є найпоширенішими в'язучими в технології холодного ресайклінгу. Вперше застосування цементу як в'язучого (стабілізатора) було зареєстровано в США у 1917 році.

Головним завданням стабілізатора є підвищення міцності матеріалу. Крім цього, вапно, замішане разом з цементом, у процесі його гідратації реагує з частинами глини в пластичних ґрунтах, зменшуючи їхню пластичність. Використання цементу повинно бути обмежено обробленням матеріалів з числом пластичності меншим за 10. Вапно - кращий стабілізатор для більшості пластичних матеріалів.

Досягнута міцність значною мірою обумовлюється кількістю доданого стабілізатора, але також залежить від типу оброблюваного матеріалу. Всупереч деяким уявленням, значні витрати стабілізатора для підвищення міцності можуть негативно вплинути на характеристики шару. З підвищенням міцності збільшується крихкість матеріалу з подальшим погіршенням характеристик втомі укріпленого шару. Це призводить до тріщиноутворення в матеріалі за дії повторних транспортних навантажень і до відображення тріщин на поверхні покриття.

Ресайклінг дорожніх одягів із використанням цементу дає змогу відновити зношені або пошкоджені покриття до рівня відповідності умовам руху, отримати однорідний та стійкий шар необхідної товщини, механічні властивості якого близькі до властивостей цементно-ґрунту або укріпленої цементом основи. У результаті ресайклінгу цементом несуча здатність дорожнього одягу істотно зростає і, навпаки, прогини покриття, напруження та деформації в шарах дорожнього одягу, які розташовані нижче, значно знижуються. Колійність на покритті можна виправити

збільшуючи товщину укріпленого шару.

Експериментально встановлено, що максимальних показників фізико-механічних властивостей регенованого матеріалу досягають у разі ущільнювального навантаження 30 МПа і водоцементного відношення 0,4. При цьому процес гідратації цементу в бетонах на основі фрезерованого асфальтобетону на мінеральному в'язучому не припиняється на 28 добу і позначається на подальшому зростанні міцності на стиск до 56 діб.

Багато країн вже мають позитивний досвід ресайклінгу із застосуванням цементу. Загалом результати можна вважати задовільними як для доріг із невисокою інтенсивністю руху, так і для магістральних доріг із неоднорідним складом транспортного потоку, якщо вони перекиваються асфальтобетоном достатньої товщини.

Як свідчить досвід таких країн, як Японія, Іспанія, Бельгія, Франція та Велика Британія, міцність на стиск регенованих матеріалів сягає 2,5 МПа у віці 7 діб. Для досягнення високої морозостійкості шару міцність можна збільшити.

Для ресайклінгу можна застосовувати будь-який цемент, проте найвищу якість забезпечує цемент, що містить активні мінеральні добавки, які збільшують періоди тужавіння та зручнооброблюваності суміші. Дані лабораторних досліджень та практичний досвід свідчать, що у багатьох випадках можна виконувати ресайклінг із застосуванням цементу без видалення або з частковим видаленням старих асфальтобетонних шарів.

Як і у жорстких шарах основи, в регенованих мінеральними в'язучими шарах виникають поперечні тріщини внаслідок усідання матеріалу, виникнення градієнтів температури і вологості. Для зменшення ризиків появи відображених тріщин у влаштованому зверху асфальтобетонному покритті попередньо нарізають поперечні шви з кроком 3 м у свіжоукладеному шарі. Нарізка швів рекомендується завжди, хоча ще не визначено мінімальної інтенсивності руху, за якої це необхідно робити.

У низці країн (Іспанія, Велика Британія тощо) було опубліковано рекомендації з розрахунку товщини регенованих шарів із використанням цементу, а в Австралії було видано матеріали з розрахунку товщини таких шарів, які ґрунтуються на аналізі багатошарових конструкцій. Проте використовувати досвід інших країн потрібно обережно, враховуючи склад руху (навантаження на вісь), властивості матеріалів, які підлягають ресайклінгу, кліматичні умови, а також місцевий досвід.

Техніка, яку випускають сьогодні для ресайклінгу, дає змогу ефективно фрезувати наявне покриття на глибину до 36 см за один прохід. У більшості випадків лише продуктивність ущільнювальної техніки лімітує товщину регенованого шару. Товщина шару, що регенується з

використанням цементу, повинна бути не меншою за 20 см, щоб уникнути виникнення зон зниженої товщини, які можуть стати причиною передчасного руйнування покриття від втоми.

Існує три способи внесення цементу. За двома першими сухий цемент до ресайклінгу розподіляють по поверхні дорожнього покриття, відповідно до третього - цементно-водну суспензію впорскують до робочої камери фрезерного агрегату під час ресайклінгу.

Доставляють цемент у мішках і розподіляють вручну (перший спосіб) переважно в країнах, де праця є недорогою і недефіцитною. Високої точності розподілення досягають завдяки ретельному позначенню дорожнього покриття сіткою, кожна чарунка якої вміщує один мішок цементу. Потім шар обережно розрівнюють лопатами з резиновими стрічками для отримання рівномірного шару.

Використання розподільника технологічних матеріалів (другий спосіб) є найпоширенішим. Існує декілька систем розподілення з потрібною витратою цементу по дорожньому покриттю (стрічкові конвеєри, гвинтові транспортери, пневматичні вентилятори). Кожен з них має свої переваги і недоліки, перевіряють витрату цементу дослідним шляхом.

За будь-якого методу розподілення сухого цементу на результат впливає погода, особливо вітер і дощ. Дрібні частки цементу легко піднімаються в повітря вітром і вантажними автомобілями, що рухаються суміжними смугами. У результаті кількість цементу в суміші зменшується, а його розподілення в суміші стає нерівномірним. Дощ спричиняє гідратацію цементу, який негайно обробляють або бракують.

Найбільш прогресивним і продуктивним способом є введення цементу у вигляді цементно-водної суспензії (третій спосіб). Установка для приготування цементно-водної суспензії WM 1000 доповнює лінійку машин для холодного ресайклінгу, забезпечуючи додавання цементу. Вона обладнана бункером цементу (25 м³) і великою водяною цистерною (11000 л). Цемент транспортується шнеком, тензодатчики визначають його масу, після чого точно задана кількість цементу змішується з водою, потрібною для досягнення оптимальної для регенованого матеріалу вологості. WM 1000 має максимальну продуктивність 1000 л цементно-водної суспензії на хвилину, чого цілком достатньо для більшості будівельних проектів із застосуванням холодного ресайклінгу. Суспензію закачують безпосередньо до нижньої розподільчої рами, розташованої в камері змішувача ресайклера і впорскують в подрібнений матеріал. Найчастіше ця установка під час роботи рухається перед самим ресайклером.

У загальному вигляді *процес ресайклінгу* містить такі операції: - підготовка поверхні (очищення з видаленням усіх потенційно шкідливих матеріалів, таких як глина або органічні речовини);

- за необхідності коригування зернового складу шляхом подрібнення, видалення або додавання нових матеріалів;
- розподілення цементу;
- фрезування дорожнього одягу на необхідну глибину із введенням води та перемішуванням складових суміші;
- влаштування швів;
- попереднє ущільнення шару;
- оброблення поверхні;
- остаточне ущільнення;
- укладання шару догляду та захисного шару;
- укладання асфальтобетонного покриття.

Залежно від обладнання, що використовується, деякі із цих операцій можна виконувати одночасно або окремо, а послідовність операцій може відрізнятися від наведеної вище.

Враховуючи досвід ресайклінгу дорожнього одягу, можна зробити висновок, що у більшості випадків регенерувати пошкоджений дорожній одяг з додаванням цементу можна з повним або частковим зняттям існуючих шарів з асфальтобетону. Оптимальним вважається варіант, коли товщина шарів на основі бітуму не перевищує 1/3 загальної глибини ресайклінгу.

Поверхню регенерованого цементом шару необхідно захищати від висихання протягом 7 діб. Якщо швидкість висихання перевищує швидкість набирання міцності, на поверхні шару можуть з'явитися тріщини усідання. Догляд забезпечується регулярним змочуванням поверхні водою за допомогою візка з баком і розподільчою трубою з дрібними соплами.

Якість готового шару оцінюється за показником границі міцності за вільного стискання зразка суміші, взятого за ресайклером, при цьому контролюється час між відбором зразків у полі та ущільненням зразків у лабораторії. Випробування повинні моделювати польові умови. Будь-яка істотна затримка може стати причиною зниження міцності з причини гідратації цементу перед ущільненням.

Підбираючи склад суміші, зазвичай визначають вміст цементу, необхідний для отримання міцності регенерованого матеріалу у верхній частині дорожнього одягу за вільного стискання від 1,5 до 3,0 МПа. Для цього рекомендовано такі витрати цементу у мас.% від матеріалу, що підлягає ресайклінгу:

- а) матеріал старого дорожнього одягу/щебінь (50/50 %) - 2,0 - 2,5;
- б) щебінь - 2,0 - 3,0;
- в) природний гравій (число пластичності < 10, - 3,0 - 4,0, каліфорнійське число > 30)

Важливим чинником забезпечення якості регенерованого матеріалу є час оброблення. Змішування, укладання, ущільнення і фінішування виконують якнайшвидше. Максимум 4 години відводяться для оброблення матеріалу цементом, починаючи з моменту його першого контакту з матеріалом до закінчення ущільнення. З використанням сучасних машин для ресайклінгу цей час часто скорочується і становить менше години. Крім цього, контролюється показник середньої щільності регенерованого матеріалу. Як правило, середня щільність має бути не меншою за 97 % від необхідного значення (модифікований метод Проктора, AASHTO).

5.2.5. Ресайклінг із застосуванням органічних в'язучих

Широке використання в різних країнах технології холодного ресайклінгу шарів дорожнього одягу безпосередньо на дорозі із застосуванням бітумної емульсії або спіненого бітуму свідчить про її економічну і технологічну ефективність під час реконструкції одягів на дорогах із середньою інтенсивністю руху. Слід відзначити велику кількість способів реалізації цієї технології - від укріплення шарів із незв'язаних гравійних матеріалів до відновлення шарів покриття з асфальтобетону.

Холодний ресайклінг дорожніх одягів з використанням бітумної емульсії або спіненого бітуму полягає у фрезеруванні або подрібненні старих шарів і введенні до подрібненого матеріалу в'язучого у вигляді емульсії або спіненого бітуму. Після профілювання та ущільнення шар покриття набуває зв'язності і відновлює свої функції.

Ресайклінг дорожнього одягу безпосередньо на дорозі з використанням емульсії або спіненого бітуму виконують у **таких випадках**:

- під час ресайклінгу частини верхніх шарів дорожнього одягу на основі бітуму для утворення шару основи або нижнього шару покриття;
- у випадку ресайклінгу всіх або частини шарів на основі бітуму і частини шарів основи з незв'язного матеріалу з метою улаштування нового шару основи;
- для укріплення незв'язних кам'яних матеріалів з метою формування нового додаткового шару або основи.

Хоча деякі ресайклери здатні розпушувати шари завтовшки понад 35 см, товщину шарів, які регенеруються на дорогах з додаванням емульсії або спіненого бітуму, вибирають меншою, щоб забезпечити можливість отримання суміші потрібної якості, а також створити умови для випаровування води у випадку застосування бітумної емульсії. Використовуючи бітумні емульсії, можна регенерувати асфальтобетонні шари завтовшки від 5 до 12 см, а шари з неукріплених матеріалів - завтовшки від 10 до 15 см. Якщо вимоги до ущільнення не надто жорсткі,

ресайклінг зернистих матеріалів можна виконати на більшу глибину - до 25 см. У випадку застосування спіненого бітуму глибина ресайклінгу становить відповідно 15 см для шарів зі старого асфальтобетону і 30 см для зернистих матеріалів.

У деяких країнах, наприклад, у Швеції холодний ресайклінг з додаванням емульсії здійснюють на стаціонарних або мобільних заводах для улаштування шарів основи або покриттів дорожнього одягу. Таку технологію застосовують також у США, переважно під час відновлення місцевих і міських доріг.

Такий спосіб ресайклінгу близький до холодного ресайклінгу на дорозі з погляду вимог до матеріалів, проектування складу сумішей, умов їх використання і правил укладання. Головна відмінність пов'язана з необхідністю проміжного зберігання складових і наявністю майданчиків для монтажу асфальтобетонних заводів (АБЗ), потрібних для приготування холодних сумішей.

Бітумну емульсію традиційно готують на емульсійній базі і потім доставляють на місце виконання робіт. Спінений бітум можна використовувати як в'язуче з різноманітними матеріалами: від високоякісного щебеню до низькоякісного гравію з відносно високою пластичністю. Основними перевагами стабілізації спіненим бітумом порівняно з бітумною емульсією є:

- зниження витрати в'язучого і транспортних витрат, оскільки спінений бітум готується зі стандартного бітуму з додаванням лише 2-3 мас.%. води, при цьому будь-яких інших витрат, крім витрат на закупівлю обладнання, немає;
- ділянка з обробленого спіненим бітумом матеріалу може бути відкритою для руху відразу після його укладання та ущільнення;
- матеріал не втрачає своїх властивостей протягом тривалого часу і піддається обробленню за несприятливих погодних умов без вимивання бітуму з кам'яного матеріалу;
- за його допомогою можна стабілізувати матеріали наявного дорожнього одягу з відносно високою вологістю, оскільки в'язуче можна вводити без додаткової води.

Спінений бітум отримують безпосередньо на місці проведення робіт у спеціальному вузлі, розміщеному у змішувальній установці. Процес його приготування полягає у подаванні гарячого бітуму з температурою приблизно 170 °С і невеликої кількості води (від 2 до 3 мас.%) в спеціальну камеру розширення. Утворена піна подається безпосередньо в змішувальний вузол, де об'єднується з мінеральним матеріалом.

Залежно від конструкції використаних для ресайклінгу машин подача емульсії або спіненого бітуму здійснюється:

- впрорскуванням в камеру для змішування;

- подаванням у пересувний змішувач, якщо ця функція виконується окремо від фрезування.

Проектування складу сумішей здійснюється емпіричним шляхом, здебільшого через відсутність лабораторних методів дослідження, які давали б змогу виготовляти зразки з такими самими властивостями, які має регенований матеріал, укладений у покриття на дорозі, а також моделювати процес структуроутворення матеріалу під час догляду за ним після укладання у шар покриття.

У процесі перемішування спінений бітум змочує переважно найдрібніші зерна (пісок і мінеральний порошок) і тільки частково оболікає більші зерна. Зв'язки між крупнішими частинками мінерального скелета досягають за допомогою бітумної мастики (асфальтов'язучого). Тому вимоги до складу сумішей, які отримують ресайклінгом з додаванням спіненого бітуму, відрізняються від вимог до сумішей на основі бітумних емульсій. Вміст дрібних частинок повинен бути не меншим ніж 5 мас.%. З урахуванням зазначених обмежень непереривчаста гранулометрія з мінімальною пористістю мінеральної частини повинна бути головною метою розрахунку.

Процес ущільнення залежить від багатьох чинників: глибина і спосіб ресайклінгу, в'язкість і вміст доданого в'язучого, кліматичні умови тощо. Необхідно досягати максимального ступеня ущільнення з одночасним забезпеченням потрібної рівності. Кількість котків визначається залежно від продуктивності ресайклера і кількості проходів для досягнення необхідного ступеня ущільнення.

Склад загону ущільнювальних машин неоднаковий у різних країнах. Під час ущільнення шарів значної товщини перевагу слід надавати використанню спочатку вібраційних котків (декілька перших проходів здійснюються без вібрації, а наступні - з вібрацією), потім важким коткам на пневматичних шинах, а на завершальній стадії - декільком проходом котка з гладкими вальцями для надання поверхні рівності. У випадку ущільнення тонких шарів із регенованого матеріалу, як це роблять у США, спочатку застосовують котки на пневматичних шинах, після чого ущільнення здійснюється гладковальцьовим котком з вимкненим вібратором.

Холодний ресайклінг шарів дорожніх одягів безпосередньо на дорозі з використанням бітумної емульсії як в'язучого не має виконуватися за температури повітря, нижчої за 5 °С. Якщо температура мінерального матеріалу нижча за 10 °С, то існує реальна небезпека того, що спінений

бітум недостатньо рівномірно розподілиться у суміші. Роботи не можна проводити під час дощу або коли він очікується. Оптимальною є температура навколишнього середовища у межах 15-20 °С. З урахуванням необхідного догляду за матеріалом у покритті не рекомендується виконувати роботи з ресайклінгу дорожніх одягів пізньо восени.

Технічні вимоги на виконання робіт за технологією холодного ресайклінгу здебільшого стосуються тільки обладнання і контролю за його функціонуванням. Тому дуже важливо на початку робіт бути впевненими у тому, що обрані параметри (швидкість обертання ротора фрези, робоча швидкість ресайклера, дозування води і в'язучих матеріалів, схема ущільнення тощо) є правильними і дають змогу досягти такої однорідності і щільності матеріалу, які необхідні для отримання якісного і довговічного шару.

5.2.6. Ресайклінг із застосуванням комбінованих в'язучих

Якщо бітумну емульсію або спінений бітум застосовують у комбінації з цементно-водною суспензією, комплектується відповідна група машин, при цьому бітумну автоцистерну штовхають перед установкою для приготування цементно-водної суспензії. У випадку розподілення цементу по поверхні дороги бітумну цистерну з'єднують безпосередньо з ресайклером, попереду штовхають водяну автоцистерну. Якщо ресайклер на гусеничному ході обладнаний ущільнювальним робочим органом, грейдер для профілювання поверхні може не знадобитися.

За превалюючого вмісту цементу в матеріалі на комбінованому в'язучому першочергову роль відіграють процеси кристалізаційного тверднення новоутворень гідратованих мінералів цементу, які надають структурі міцності. Органічна складова комбінованого в'язучого виконує роль гідрофобізатора поверхні та надає структурі деякої деформативної здатності.

За превалювального вмісту в матеріалі бітумної емульсії першочергову роль відіграють адсорбційні процеси, які надають структурі підвищеної деформативності, морозостійкості і тріщиностійкості порівняно з матеріалом з переважним вмістом цементу. Структура такого матеріалу характеризується високим ступенем насиченості коагуляційними зв'язками і за властивостями наближається до асфальтобетонів.

Вміст цементу не менший за 5 мас.% і бітумної емульсії не більший за 2 мас.% забезпечують отримання за технологією холодного ресайклінгу фрезерованого асфальтобетону - матеріалу, що за показником зсувостійкості є близьким до гарячих дрібнозернистих асфальтобетонів.

Цілком можливо шляхом добору оптимального співвідношення між

вмістом мінеральної та органічної складових комбінованого в'язучого у складі суміші, отриманої за технологією холодного ресайклінгу, одночасно забезпечити як колієстійкість, так і тріщиностійкість шарів дорожніх одягів, побудованих з їх використанням.

Матеріал, що регенерується з використанням бітуму і цементу (<1,5 мас.%), не має усадочних тріщин, на відміну матеріалу, де застосовують лише цемент. Завдяки наявності цементу втрати часу на структуроутворення шару зменшуються, і рух можна відкривати після закінчення робіт. Проте заборонено паркувати великовантажні автомобілі і дорожні котки на свіжовлаштованому шарі, поки матеріал під впливом руху транспортних засобів не набуде потрібної щільності і міцності.

5.3. Технології гарячого ресайклінгу асфальтобетону

5.3.1. Ресайклінг на асфальтобетонному заводі

Більшість країн розробили технології гарячого ресайклінгу асфальтобетону зі старих покриттів на заводі після енергетичної кризи на початку 1970-х років, а в Нідерландах і Німеччині цей процес почався ще до 1950 року.

Повторне використання фрезерованого асфальтобетону (асфальтовий гранулят) у гарячих асфальтобетонних сумішах в середньому становить 25 мас.%. Це значення істотно варіюється в різних країнах: від дуже низької до понад 90 мас.%. Великі цифри характерні для країн з високою густиною населення і жорсткими вимогами до охорони довкілля, які передбачені національними природоохоронними стандартами. Це такі країни, як Німеччина і Нідерланди.

Внаслідок реалізації технології гарячого ресайклінгу досягають такої самої несучої здатності конструкції дорожнього одягу, як і раніше. Будь-який інший спосіб ресайклінгу старого асфальтобетону (наприклад, холодний ресайклінг на основі цементу) призводить до отримання шарів дорожнього одягу з нижчою несучою здатністю. Для забезпечення однакової несучої здатності необхідно в середньому в 2,5 рази збільшити товщину шарів, отриманих за допомогою технології холодного ресайклінгу. Тому технологія гарячого ресайклінгу асфальтобетонів зі старих покриттів на заводі є економічно привабливішою.

У виробництві гарячих асфальтобетонних сумішей, складовим компонентом яких є асфальтовий гранулят, додатково висуваються вимоги до таких показників:

- гранулометрія мінеральних матеріалів у асфальтовому грануляті;
- кількість в'язучого в асфальтовому грануляті і значення його в'язкості;

- кількість і гранулометрія щебеню в асфальтовому грануляті, а у разі потреб - й інші показники якості мінеральних часток;
- вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів у асфальтовому грануляті;
- вміст модифікованого в'язучого і спосіб модифікації (наприклад, полімерами).

Як правило, асфальтовий гранулят заздалегідь нагромаджують і зберігають до того, як буде використаний. Враховуючи властивості цієї сировини, виробник асфальтобетону добирає оптимальний склад гарячої асфальтобетонної суміші. При цьому слід звертати увагу на те, щоб асфальтовий гранулят залишався однорідним.

Важливим критерієм визначення максимальної кількості асфальтового грануляту в суміші є його однорідність. При цьому враховуються також такі чинники:

- властивості мінеральних матеріалів і в'язучого;
- однорідність властивостей;
- наявне на заводі обладнання.

Важливим моментом гарячого ресайклінгу асфальтобетонів зі старих покриттів на заводі є технологічна оснащеність і наявність необхідного обладнання на асфальтобетонному заводі (АБЗ). За так званими холодними методами введення асфальтового грануляту до складу асфальтобетонної суміші його вміст становить залежно від вологості 10-20 мас.%, а у випадку використання паралельного сушильного барабану можливе підвищення вмісту асфальтового грануляту до 80 мас. %.

Головна ідея під час добору складу асфальтобетонної суміші полягає в тому, щоб властивості суміші старого і нового бітуму відповідали вимогам до бітуму, призначеного для типу проектованої суміші. При цьому також враховується, що у процесі приготування гарячої асфальтобетонної суміші на АБЗ відбуватиметься інтенсивне об'єднання старого і нового бітуму. У низці країн діють обмеження щодо в'язкості старого бітуму. Так, наприклад, рекомендовано застосовувати асфальтовий гранулят, в якому старий бітум характеризується пенетрацією за 25 °С - 15 град, (середнє значення для 5 вимірів) і мінімум - 10 град.

Багато різних способів гарячого ресайклінгу асфальтобетону зі старих покриттів на заводі мають спільні ознаки:

- використовують фрезерований або подрібнений асфальтобетон зі старого покриття;
- матеріал обробляють в'язучим на АБЗ або в спеціальній установці, аналогічній асфальтозмішувачу;
- старий асфальтобетон додають до нового в кількості від 20 до 80 мас.% або використовують весь без додавання нових матеріалів;

- отриману асфальтобетонну суміш укладають в шари дорожньої конструкції так само, як традиційну асфальтобетонну суміш.

При цьому передбачено, що асфальтобетон, який містить асфальтовий гранулят, повинен мати такі самі функціональні властивості, як і новий асфальтобетон.

Існує декілька методів введення асфальтового грануляту до нових матеріалів, що дає змогу змінювати гранулометричний склад самої суміші і асфальтового грануляту, на виході отримуючи гарячі асфальтобетонні суміші для різних шарів дорожнього одягу.

На заводах періодичної дії без додаткового сушильного барабану асфальтовий гранулят попередньо не нагрівається в окремому сушильному барабані, а вводиться через ваговий дозатор безпосередньо у асфальтозмішувач на нагріті до необхідної температури (максимальна - 275 °С) нові мінеральні матеріали. При цьому утворюється пара, яку відкачують і вилучають через систему збирання і видалення пилу на заводі. У таких випадках максимальну температуру процесу змішування складових обмежують, щоб уникнути можливого пошкодження окремих вузлів АБЗ. Як правило, в асфальтозмішувач вводять 15 мас.% асфальтового грануляту (максимум 20 мас.%).

Асфальтовий гранулят можна вводити до дозувальних відділень мінеральних матеріалів через окремий дозатор. Це дає змогу розсіювати новий мінеральний матеріал без будь-якого впливу асфальтового грануляту на гранулометричний склад. Щоби запобігти окисненню нового в'язучого, яке вводять в асфальтозмішувач, рекомендується перемішувати новий мінеральний матеріал з асфальтовим гранулятом перед додаванням в'язучого у суміші.

На АБЗ з окремим сушильним барабаном його оснащують пальником для висушування і попереднього нагрівання асфальтового грануляту до 130 °С. Після цього асфальтовий гранулят як окремий компонент суміші подають за допомогою дозувального устаткування у змішувач і перемішують з новим мінеральним матеріалом, нагрітим до вищої температури, щоб результуюча температура суміші становила близько 160 °С.

У випадку введення висушеного і попередньо нагрітого асфальтового грануляту мінімальна його кількість може становити в гарячій асфальтобетонній суміші 50 мас.% і навіть 80 мас.% за умови гарантованої постійності якості й однорідності асфальтового грануляту.

Щоб запобігти старінню бітуму перед його додаванням в гарячу асфальтобетонну суміш, суміш асфальтового грануляту і нових мінеральних матеріалів перемішують протягом 10 секунд. При цьому загальна тривалість перемішування збільшується, а продуктивність заводу зменшується порівняно зі звичайними асфальтобетонними заводами, на

яких виготовляють традиційні асфальтобетонні суміші.

Транспортування і укладання гарячої асфальтобетонної суміші, виготовленої з асфальтового грануляту, не відрізняються від традиційної технології.

5.3.2. Ресайклінг у пересувних установках

Під час ремонту дорожнього покриття, коли споживані обсяги асфальтобетонної суміші невеликі, оптимальним варіантом може бути перероблення асфальтового грануляту безпосередньо в зоні проведення робіт. У цьому випадку регенерацію асфальтобетону можна виконувати у пересувній установці невеликої продуктивності. Вперше на території СНД почало випускати такі установки для регенерації асфальтобетону в 1999 році білоруське підприємство "Белдортехніка".

Автономна установка призначена для повторного використання асфальтобетону (шматки розміром не більшим за 100x100x100 мм), одержуваного в процесі ремонту доріг з асфальтобетонним покриттям у разі його зняття фрезерними машинами. Установка є одноосьовим причепом, на якому встановлюються: силова установка, обертова теплоізоляційна ємність, завантажувальний бункер, підігрівник, паливний і масляний баки, пульт керування; гідроустаткування, пневмообладнання, електроустаткування. Двигун і пальник підігрівника працюють на дизпаливі. Установка транспортується колісними тракторами, обладнаними пневмообладнанням для приводу гальм і виводами для під'єднання електросигнального устаткування установки.

За цією технологією розігрівають асфальтовий гранулят і перемішують асфальтобетонну суміш (у разі потреби з різними добавками) в обертовій ємності (гравітаційний змішувач барабанного типу). Ємність - це бак циліндричної форми з двома стінками, між якими прокладено утеплювач. З одного боку ємність конусної форми має отвір, крізь який завантажують матеріали з бункера, а з протилежного боку є розвантажувальне вікно зі спускною засувкою. На валу ємності закріплено гідропривід, що надає їй обертання. Обертову ємність закриває захисний кожух. Підігрівник складається із кронштейна з закріпленням на ньому пальником, паливним насосом і вентилятором. Буксирується установка практично будь-яким транспортним засобом (автомобілем, трактором тощо).

Головною особливістю установки є можливість роботи в осінньо-зимовий і весняний періоди після зупинки і до запуску асфальтобетонних заводів.

Сьогодні освоєно випуск установок для регенерації асфальтобетону ПМ-107 та ПМ-107-ЛА, які агрегуються з трактором моделі МТЗ-80/82КК із приводом від ВВП трактора.

Використання установки ПМ-107ЛА (ПМ-107) дає змогу ремонтувати дороги асфальтобетоном, раніше знятим фрезерною машиною з ремонтваної ділянки зі збереженням хімічного складу бітуму, що позитивно позначається на довговічності відремонтованої ділянки дороги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ВБН В.2.3-218-539:2007. Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування із холодних сумішей, що містять холодний асфальтобетон.
2. ВБН В.2.3-218-545:2009. Споруди транспорту. Укріплення та стабілізація шарів дорожнього одягу за методом холодного ресайклінгу.
3. ВБН В.3.2-218-177-2004. Ямковий ремонт асфальтобетонного покриття автомобільних доріг струменевим методом із застосуванням бітумних емульсій. К. : Укравтодор, 2004. С. 8.
4. Кіщинський С. В., Кириченко Л. Ф., Копинець І. В., Гончаренко Ю. Ф. / Ремонт тріщинуватих асфальтобетонних покриттів з використанням мембранних технологій. *Автошляховик України*, 2012. №2. С. 30–34.