

ВСЕСВІТНЯ ДОРОЖНЯ АСОЦІАЦІЯ
Технічний комітет
C7/8 «Дорожні покриття»

AIPCR ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
Comité Technique AIPCR C7/8 "Chaussées Routières"

PIARC WORLD ROAD ASSOCIATION
PIARC Committee on C7/8 "Road Pavements"

РЕЦИКЛЮВАННЯ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

Частина 1
Посібник з холодного
рециклювання дорожніх одягів
безпосередньо на дорозі
з використанням цементу

Харків 2005

ВСЕСВІТНЯ ДОРОЖНЯ АСОЦІАЦІЯ
Технічний комітет
C7/8 «Дорожні покриття»

AIPCR – ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
Comité Technique AIPCR C7/8 – «Chaussées Routières»

PIARC – WORLD ROAD ASSOCIATION
PIARC Committee on C7/8 – «Road Pavements»

РЕЦИКЛЮВАННЯ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

Частина I

*ПОСІБНИК З ХОЛОДНОГО РЕЦИКЛЮВАННЯ
ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ БЕЗПОСЕРЕДНЬО НА ДОРОЗІ
З ВИКОРИСТАННЯМ ЦЕМЕНТУ*

Під загальною редакцією професорів
В. Жданюка і Д. Сибільського.
Переклад на українську мову з російської
версії В. Жданюка

78.02.E

Харків 2005

УДК 625.7/8

Всесвітня дорожня асоціація. Технічний комітет С 7/8 «Дорожні покриття». Рециклювання дорожніх одягів. Частина 1. Посібник з холодного рециклювання дорожніх одягів безпосередньо на дорозі з використанням цементу / Під заг. ред. проф. В. Жданюка і Д. Сибільського. – Харків: Вид-во ХНАДУ, 2005. – 76 с.

Посібник присвячений технології холодного рециклювання дорожніх одягів безпосередньо на дорозі з використанням як в'язучого цементу. Розкриваються переваги і недоліки технології, особливості проектування складу суміші, виконання робіт, контролю якості. Наведено дані про вплив різних факторів на вартість рециклювання дорожніх одягів із використанням цементу.

Призначений для наукових та інженерно-технічних працівників, а також викладачів, аспірантів, студентів, слухачів факультету підвищення кваліфікації, які спеціалізуються у галузі будівництва автомобільних доріг.

Іл. 30.

Табл. 9.

Бібліогр. найм. 35

ISBN 966-303-079-8

AIPCR – ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
La Grande Arche – Paroi Nord
92055 LA DEFENSE Cedex – France
Fax : +33 1 49 00 02 02 E-mail : piarc@wanadoo.fr
<http://www.piarc.org>
PIARC – WORLD ROAD ASSOCIATION
ISBN : 2-84060-154-0

ЗМІСТ

1. Вступ	7
1.1. Загальні положення	7
1.2. Способи рециклювання.....	8
1.2.1. Залежно від місця виконання процесу перемішування	8
1.2.2. Залежно від температури процесу	8
1.2.3. Залежно від властивостей матеріалу у шарі дорожнього одягу, який рецикліюється.....	9
1.2.4. Залежно від виду в'язучого	9
Розділ 2. Посібник з холодного рециклювання покриттів безпосередньо на дорозі з використанням цементу як в'язучого	11
2.1. Подяка	12
2.2. Анотація.....	13
2.3. Вступ	14
2.3.1. Визначення	14
2.3.2. Історія розвитку	16
2.3.3. Цілі рециклювання.....	17
2.3.4. Переваги та недоліки рециклювання на дорозі	18
2.3.5. Переваги.....	18
2.3.6. Недоліки.....	18
2.3.7. Особливості рециклювання на дорозі цементом.....	19
2.3.8. Порівняння рециклювання з укладанням нового шару покриття	19
2.4. Попередні дослідження.....	20
2.4.1. Вступ	20
2.4.2. Здійсненість рециклювання.....	20
2.4.3. Обстеження існуючої дороги	21
2.4.4. Встановлення властивостей матеріалів покриття	23
2.4.5. Водовідведення та клімат	24
2.4.6. Розрахункова інтенсивність руху.....	25
2.4.7. Схеми розширення та укріплені узбіччя	25
2.5. Проектування складу суміші	25
2.5.1. Зерновий склад.....	25
2.5.2. Вміст води.....	26
2.5.3. Щільність суміші	26
2.5.4. Цемент та інші добавки.....	26
2.5.5. Терміни зручнооброблюваності.....	29
2.6. Механічні властивості рецикльованих матеріалів	30
2.7. Проектування покриттів з матеріалів, рецикльованих із додаванням цементу	32
2.8. Машини для рециклювання	36
2.8.1. Вступ	36
2.8.2. Опис машин.....	39

2.9. Виконання робіт.....	49
2.9.1. Процес рециклювання	49
2.9.2. Виконання робіт.....	51
2.10. Контроль якості.....	62
2.10.1. Вступ	62
2.10.2. Контроль якості у процесі будівництва.....	62
2.10.3. Контроль якості закінчених робіт	65
2.11. Вартість.....	68
2.11.1. Вступ	68
2.11.2. Вартість будівництва рецикльованого шару	68
2.11.3. Цемент.....	69
2.11.4. Обладнання для рециклювання.....	69
2.11.5. Додаткове обладнання та роботи	71
2.11.6. Інші види витрат	71
2.11.7. Загальна вартість.....	72
Література.....	73

Цей документ не є нормативним або доповіддю про сучасні досягнення в області рециклювання шарів дорожніх одягів безпосередньо на дорозі із застосуванням цементу. У ньому представлена остання інформація про застосування цієї технології в усьому світі. Цей документ є посібником з правильного застосування технологій рециклювання, розроблених на основі узагальнення досвіду різних країн.

Для отримання додаткової та детальної інформації читачам пропонується ознайомитися з численними документами, наведеними у списку літератури.

Даний посібник розроблено у технічному комітеті C7/8 PIARC «Дорожні покриття» за безпосередньою участю підгрупи SC5 «Рециклювання та відновлення покриттів», очолюваної Яном Т. Ван дер Званом (Нідерланди). Кожна з трьох частин посібника написана окремими робочими групами під керівництвом Карлоса Жофре (Іспанія), Жана Франсуа Корте (Франція) та Жана Ван дер Звана (Нідерланди) (склад учасників кожної робочої групи наведений у відповідних частинах посібника).

До підгрупи входили такі члени комітету C7/8:

Абдельхем Джакані (Марокко)
Альф Фольпрахтс (Німеччина)
Алан Белл (Австралія)
Андре Ясенські (Бельгія)
Андрус Аавік (Естонія)
Асгар Надері (Іран)
Броніслав Єфімов (Польща)
Карлос Жофре (Іспанія)
Карлос Кремер (Іспанія)
Клод де Бакер (Бельгія)
Жан-Франсуа Корте (Франція)
Еліас Ндлову (Зімбабве)
Фігірейро Морао (Бразилія)
Гілермо Темплтон (Мексика)
Ян Кудма (Республіка Чехія)
Жан-Габріель Хаммершлаг (Швейцарія)
Жан-П'єр Маршан (Франція)
Джон Вільямс (Великобританія)
Хорхе Фрейре (Португалія)
Хорхе Нобре Сантос (Португалія)

Марія Да Концесао Азеведо (Португалія)
Рейнхард Грюнінг (Німеччина)
Руді Булл-Вассер (Німеччина)
Сафват Саїд (Швеція)
Саллі Елліс (Великобританія)
Ясумаса Торі (Японія)
Ів Гіду (Франція).

Особлива подяка Алану Беллу (Австралія), англомовному секретарю Технічного Комітету C7/8 PIARC «Дорожні покриття», за його люб'язну редакторську правку англійської версії посібника, а також Андре Ясенські, Клоду де Бакеру, Бертрану Гуелтону (усі з Бельгії) та Жану Франсуа Кортє (Франція) за переклад на французьку англійської версії посібника. Редагування даного посібника було виконано Жаном Франсуа Кортє (Франція).

1. ВСТУП

Даний документ складається з трьох різних посібників: холодне рециклювання покриттів безпосередньо на дорозі з застосуванням цементу, холодне рециклювання покриттів безпосередньо на дорозі з застосуванням бітумної емульсії або спіненого бітуму та гаряче рециклювання на асфальтобетонному заводі. Всі ці технології будуть розглянуті після загальної вступної частини.

1.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дорожнє будівництво є основним споживачем матеріалів. З іншого боку, під час робіт з утримання та реконструкції щорічно утворюється значна кількість відпрацьованих матеріалів. Рециклювання, тобто повторне використання матеріалів існуючих доріг та використання відходів у дорожньому будівництві, застосовується вже досить давно. Дійсно, ще римляни використовували при будівництві доріг усі відомі види відходів. Аргументування необхідності рециклювання в різних країнах світу може відрізнятися, проте на прийняття такого рішення впливає, перш за все, переконання у необхідності забезпечення стійкого розвитку, що яскраво проявляється при рециклюванні. У той же час, визначальними у технологіях рециклювання є економічні чинники. Загалом, можна відзначити, що обмежені запаси мінеральних ресурсів, нестача земельних площ, економічна вигода та сукупність цих чинників стимулювали в останні десятиріччя розвиток технологій рециклювання.

Рециклювання визначається як повторне використання матеріалів існуючої дорожньої конструкції зі зміною або без зміни властивостей цих матеріалів.

Відомо багато різновидів рециклювання: безпосередньо на дорозі або на заводі, з використанням старих матеріалів, з додаванням або без додавання нових, із зміною або без зміни функцій та характеристик матеріалів. Вибір того чи іншого способу залежить від технічних, екологічних та економічних факторів. Підхід до цього питання неоднаковий у різних країнах, він базується на потребах країни, технічних вимогах, технологіях, ресурсах і т.ін. У даному посібнику не розглядаються питання вибору способу рециклювання. У кожній країні слід приймати таку технологію, яка відповідає технічним потребам реконструкції або утримання доріг, новому призначенню дороги, державній політиці в галузі стійкого розвитку та економічним перспективам.

Даний посібник складено з урахуванням самих останніх досягнень у технологіях рециклювання покриттів безпосередньо на дорозі з використанням цементу, емульсії або спіненого бітуму, а також технології гарячого рециклювання на заводі. У ньому більш детально були розглянуті тільки ті питання, які мають практичне значення для всіх країн. Ряд технічних подробиць (наприклад, по асфальтобетонних заводах) вже описано в багатьох посібниках і тут не розглядається.

1.2. СПОСОБИ РЕЦИКЛЮВАННЯ

Рециклювання покриттів можна класифікувати в залежності від:

- місця здійснення перемішування;
- температури процесу;
- властивостей матеріалів, що рецикуються;
- виду в'язучого.

1.2.1. Залежно від місця виконання процесу перемішування

На дорозі

Відфрезовані матеріали та в'язуче перемішуються безпосередньо на дорозі на ділянці виконання робіт. У цьому випадку матеріали існуючого покриття є головною складовою, іноді до них додають деяку кількість привезених матеріалів. В'язуче або розподіляється по поверхні покриття (у разі застосування цементу або вапна) за допомогою відповідних розподільників (ручний розподіл допустимий тільки на другорядних дорогах), або подається в установку рециклювання з цистерни (наприклад, цементна суспензія або бітумна емульсія), а потім ретельно перемішується з розпушеним матеріалом. Вода, у разі потреби, додається у процесі перемішування.

На асфальтобетонному заводі

Відфрезований або зруйнований матеріал збирається в штабель, потім переробляється з метою забезпечення потрібного зернового складу та переміщується на асфальтобетонному заводі з отриманням нової суміші – на основі цементного або бітумного в'язучого. Змішувачі можуть бути безперервної або циклічної дії. Потім суміш рецикльованого матеріалу транспортується на дорогу, де укладається та ущільнюється за допомогою відповідних машин.

1.2.2. Залежно від температури процесу

Холодне рециклювання

Холодне рециклювання (без нагрівання матеріалів існуючого покриття), як правило, здійснюється на дорозі, але може виконуватися і на асфальтобетонному заводі.

Гаряче рециклювання

На асфальтобетонному заводі відфрезований матеріал у нагрітому стані переміщується з бітумом, а нові мінеральні складові додаються при необхідності корегування зернового складу. Як правило, суміші містять не більше 40 % фрезованого матеріалу, але іноді його вміст може становити й 100 %.

Під час здійснення процесу рециклювання безпосередньо на дорозі, спеціальні машини підвищують температуру покриття до такого рівня, щоб забезпечувалася можливість подрібнення і перемішування матеріалу.

1.2.3. Залежно від властивостей матеріалу у шарі дорожнього одягу, який рециклюється

Рециклюванню можуть піддаватися відносно однорідні шари дорожнього одягу (наприклад, шар із зернистого матеріалу, перекритий шаром поверхневої обробки або асфальтобетоном зменшеної товщини), два або більше шарів з різних матеріалів (наприклад, шар із зернистого матеріалу, перекритий асфальтобетоном значної товщини, що утворився внаслідок декількох перекриттів).

1.2.4. Залежно від виду в'язучого

Цемент

Вміст цементу приймається таким, щоб досягалася міцність, щонайменше, така, як у цементогрунту, хоча, залежно від властивостей рецикльованого матеріалу та вмісту цементу, можуть бути отримані й більш високі значення міцності. Наприклад, у разі відносно чистих мінеральних матеріалів, властивості та міцність покриття після рециклювання будуть подібні до властивостей та характеристик шарів основ, укріплених цементом.

Вапно та цемент

У випадку рециклювання дуже пластичних матеріалів, якими є нижні шари основи, що забруднені глинистими частинками, перевагу віддають комбінованому зміцненню вапном та цементом. При цьому кожне в'язуче виконує свою функцію:

- вапно флокує тонкодисперсні частинки глини в ході швидкої реакції іонного обміну (одночасно знижується вміст води);
- цемент приводить до швидкого зростання механічної міцності.

Бітумна емульсія

Матеріал, що фрезується, переміщується з емульсією та необхідною кількістю води. Після розподілу та ущільнення суміші покриття набуває властивостей, подібних покриттям із зернистих матеріалів, оброблених емульсією, або покриттям із щільних холодних асфальтобетонних сумішей.

Спінений бітум

Спінювання здійснюється шляхом подачі певної кількості холодної води (як правило, в межах від 2 до 3 % по масі) та повітря до гарячого бітуму. При цьому в'язкість бітуму значно знижується, забезпечуючи його добре перемішування з матеріалами покриття, що фрезується.

Цемент з емульсією або спіненим бітумом

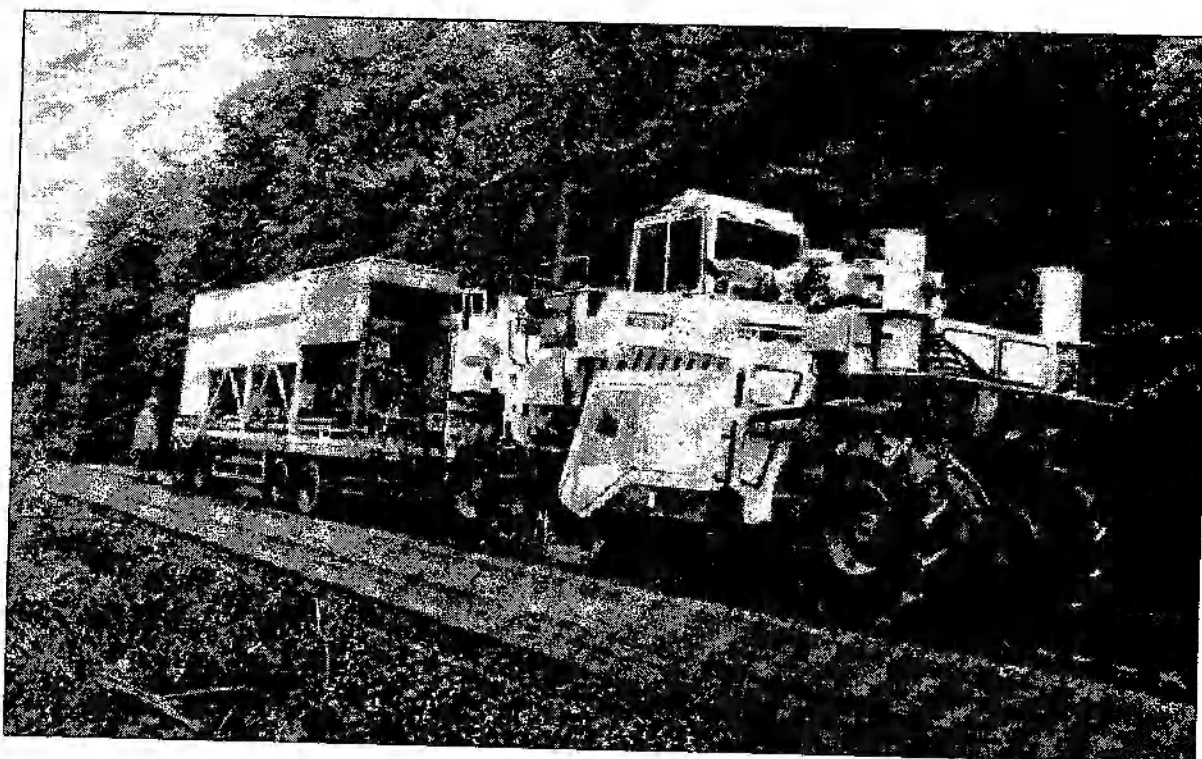
Метою використання комбінованих в'язучих є отримання матеріалів з більш високими показниками міцності. У той же час, присутність в них емульсії або спіненого бітуму забезпечує підвищену еластичність матеріалу та меншу схильність до усадки у порівнянні із сумішами, укріпленими тільки цементом.

Бітум

Бітум застосовується при повторному використанні фрезерованого асфальтобетону як складової мінеральної частини при приготуванні гарячих асфальтобетонних сумішей на АБЗ.

РОЗДІЛ 2

ПОСІБНИК З ХОЛОДНОГО РЕЦИКЛЮВАННЯ ПОКРИТТІВ БЕЗПОСЕРЕДНЬО НА ДОРОЗІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦЕМЕНТУ ЯК В'ЯЖУЧОГО



2.1. ПОДЯКА

Даний посібник був розроблений у Технічному Комітеті 7/8 PIARC «Дорожні покриття» робочою групою, очолюваною Карлосом Жофре (Іспанія), за участю таких експертів:

Хесус Діаз Мінгуела (Іспанія)
Саллі Елліс (Великобританія)
Торнстайн Фробель (Німеччина)
Андре Ясенські (Бельгія)
Девід Джонс (Великобританія)
Стеліос Коліас (Греція)
Карлос Кремер (Іспанія)
Бернард Маркс (Німеччина)
Герман Зоммер (Австрія)
Джордж Воробйофф (Австралія).

Була також надана допомога від:

Ж.П. Древе (Бельгія)
Жюль Еглі (Швейцарія)
Моріс Лефор (Франція)
Тоні Льюіс (Південна Африка)
Зденек Невосад (Чехія)
Етауро Нода (Японія)
Ян Р. Прусинські (США)
Люк Ренс (Бельгія)
Ален Сентон (Франція)
П'єр Сіон (Бельгія)
Гарі Стурм (Канада)
Ясумаса Торі (Японія)
Бенуа Верхаге (Південна Африка)
П'єр Вінсент (Бельгія)
Грем Уоррен (Великобританія)
Тому Вілмот (Австралія)

Переклад цього посібника на французьку мову з англійської версії був виконаний за підтримки «ФЕБЕЛЬГЕМА» (Бельгія).

2.2. АНОТАЦІЯ

Рециклювання на дорозі з використанням цементу має багато переваг при відновленні старих покриттів, які потребують істотного підвищення їх несучої здатності. Даний спосіб є таким рішенням, яке повинно завжди враховуватися, разом з класичними способами влаштування захисних шарів або реконструкції. У багатьох випадках рециклювання на дорозі з використанням цементу виявляється найекономічнішим варіантом.

Багато країн вже мають значний досвід рециклювання із застосуванням цементу. У цілому результати можуть вважатися досить задовільними як для доріг з невеликою інтенсивністю руху, так і для основних доріг із значною кількістю у складі транспортного потоку вантажних автомобілів, а також і для аеропортів.

Як правило, немає жодних проблем із застосуванням технології рециклювання шарів з використанням цементу на дорогах з високою інтенсивністю, якщо вони перекриваються асфальтобетоном достатньої товщини. Не слід забувати, що отриманий після рециклювання матеріал подібний до цементогрунту або укріпленої цементом основи, які застосовуються на дорогах будь-якої інтенсивності. Це підтверджується результатами, отриманими на дорогах з великою інтенсивністю руху вантажних автомобілів.

Техніка, що випускається в даний час для рециклювання, дозволяє ефективно фрезувати існуюче покриття на глибину до 36 см за один прохід. У більшості випадків лише продуктивність ущільнюючої техніки лімітує товщину рецикльованого шару. З другого боку, товщина шару, що рециклюється, з використанням цементу, повинна бути не менше 20 см, щоб уникнути виникнення зон зниженої товщини, які можуть стати причиною передчасного руйнування покриття від утомленості.

Щоб переконатися у доцільності рециклювання покриття, необхідно встановити, чи відбулося руйнування в результаті поганої якості самого покриття (недостатня товщина, забруднення зернистих матеріалів глиною, порушення зв'язку між асфальтобетонними шарами і т.ін.), або причиною є основа дорожнього одягу. В першому випадку рециклювання цементом вважають найкращим рішенням.

Відсутність нормативних вимог або чітких рекомендацій є причиною того, що деякі дорожні керівники не застосовують технології рециклювання. В той же час у ряді країн (Іспанія, Бельгія, Франція та Великобританія) були опубліковані результати, які доповнюють роботи, видані раніше у Японії. Були отримані добрі результати при використанні рецикльованих матеріалів, що мають розрахункову міцність при стисканні близько 2,5 МПа у віці 7 діб. Проте в тих випадках, коли необхідно добитися прийнятної морозостійкості, може бути потрібна більш висока міцність.

Для рециклювання може застосовуватися будь-який цемент, проте найвищу якість забезпечує цемент, що містить активні добавки, які можуть збільшити період тужавіння та зручнооброблюваності.

Дані лабораторних досліджень та практичний досвід свідчать, що у багатьох випадках можна виконувати рециклювання із застосуванням цементу без видалення або з частковим видаленням старих асфальтобетонних шарів.

Як і у шарах основ, укріплених цементом, у шарах з рецикльованих матеріалів, із застосуванням цементу, виникають поперечні тріщини внаслідок сумісного впливу таких чинників, як усадка, транспортні навантаження і температурні напруження.

Попередня нарізка поперечних швів, з кроком у 3 м, у свіжоукладеному, рецикльованому з використанням цементу, шарі, є найефективнішим способом мінімізації появи відображених тріщин у влаштованому зверху асфальтобетонному покритті. Успішно застосовуються різноманітні способи нарізки поперечних швів.

Попередня нарізка швів завжди рекомендується, хоча ще не була визначена мінімальна інтенсивність руху, при якій це необхідно робити. Влаштування та спостереження за декількома ділянками доріг з рецикльованого матеріалу, на одній дорожній мережі, але з різною інтенсивністю руху, може дати відповідь на це запитання.

У ряді країн (наприклад, в Іспанії, Великобританії) були опубліковані рекомендації з розрахунку товщини рецикльованих шарів з використанням цементу, а в Австралії були видані матеріали з розрахунку товщини таких шарів, які ґрунтуються на аналізі багатшарових конструкцій. Проте використання досвіду інших країн повинно здійснюватися з обережністю, беручи до уваги склад руху (навантаження на вісь), властивості матеріалів, які підлягають рециклюванню, кліматичні умови, а також місцевий досвід.

2.3. ВСТУП

2.3.1. Визначення

Рециклювання покриттів є технологією, при якій існуюче старе покриття (рис. 2.1) модифікується та перетворюється в однорідну конструкцію, що задовольняє вимоги руху транспорту. Більш точно, така технологія складається з повторного використання матеріалів існуючого покриття при будівництві нового шару та включає такі операції:

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



Рис. 2.1. Відновлення зруйнованого покриття способом рециклювання на дорозі

Розрахунок складу суміші базується на результатах визначення якості контрольних проб. Приготована однорідна суміш розподіляється (рис.2.2), ущільнюється (рис.2.3), потім здійснюється відповідний догляд за поверхнею шару, що забезпечує отримання основи або шару з більш високими структурними властивостями, які реалізуються у новому дорожньому одязі.

Поверх рецикльованого шару, для запобігання дії на нього транспорту в ході робіт, укладається захисний шар. Пізніше влаштовується один або два шари асфальтобетону для забезпечення функціональності та несучої здатності дорожнього одягу.

Рециклювання покриттів може здійснюватися як на заводі, так і на дорозі. У даний час частіше використовується другий спосіб, який є більш ефективним у реалізації переваг технології рециклювання у технічному, екологічному та економічному відношенні.

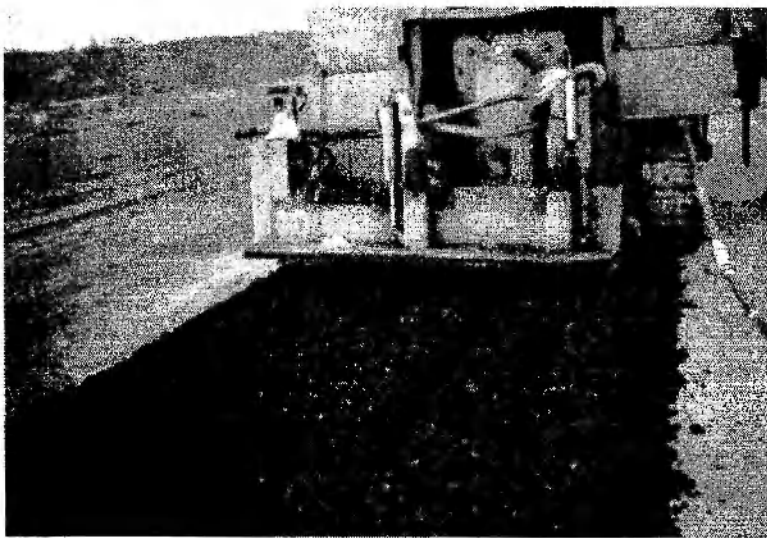


Рис. 2.2. Матеріал, який рециклюється



Рис. 2.3. Ущільнення рецикльованого матеріалу

2.3.2. Історія розвитку

Конструкція дорожнього одягу забезпечує дорогам таку несучу здатність, щоб вони витримували очікувані навантаження від транспорту. При цьому важливу роль відіграють склад та міцність шару основи, а також якість шарів покриття. З цієї точки зору, використання укріплених основ було значним кроком вперед, оскільки це дозволило уникнути багатьох проблем, характерних для неукріплених зернистих шарів. У ході вивчення нових способів підвищення несучої здатності дорожнього одягу, що забезпечує як зниження вартості робіт, так і використання нових матеріалів, існуючі покриття почали повторно використовувати та відновлювати шляхом їх фрезування і додавання в'язучих матеріалів.

Перший досвід застосування технології рециклювання можна знайти у Великобританії, де після другої світової війни була розроблена «Технологія повторного ущільнення» [1] для ремонту другорядних доріг.

Ця технологія включала:

- подрібнення покриття;
- додавання, у разі потреби, невеликої кількості мінеральних матеріалів;
- перемішування на дорозі подрібненого та нового матеріалів за допомогою грейдера або дискової борони. Потім по отриманому шару розподілялася бітумна емульсія з низьким вмістом в'язучого та всі компоненти негайно перемішувалися з використанням сільськогосподарської техніки. Протягом першого дня перемішаний матеріал лише злегка ущільнювався, оскільки в ньому була значна кількість води, а остаточне ущільнення проводилося наступного дня. Це була дуже проста технологія. При правильному її здійсненні досягалися задовільні результати.

З середини 1980-х років спосіб рециркулювання на дорозі для відновлення існуючих доріг знову став затребуваним. Спостережуваний відчутний успіх у цій галузі був пов'язаний з такими трьома чинниками:

- покращення знань властивостей цементу, оброблюваних матеріалів та якості напівжорстких покриттів [1];
- використання нової, більш потужної техніки з більш високою продуктивністю та глибиною обробки, яка в той же час забезпечувала вищу якість готового продукту [5, 23];
- зростаюча екологічна заклопотаність, яка сприяла розробці технологій, що забезпечують екологічну вигоду. Це стосується, зокрема, виснаження природних мінеральних ресурсів та труднощів з відкриттям їх нових джерел.

У даний час технологія рециркулювання на дорозі з використанням цементу набула широкого розповсюдження у таких країнах, як США [6], Австралія [29], Німеччина [27], ПАР [18], Іспанія [20] та Франція [9]. У Франції за останні роки рециркульовано цементом близько 2 млн. м² покриттів.

У Німеччині підвищена увага до навколишнього середовища дала можливість реалізувати урядові вказівки з виключення, зниження утворення відходів зношених асфальтобетонних матеріалів та з повторного їх використання.

2.3.3. Цілі рециркулювання

Основною метою рециркулювання покриття на дорозі є покращення його властивостей та експлуатаційної поведінки під дією транспорту за рахунок:

- перетворення зношеного та неоднорідного покриття на стійку і більш однорідну конструкцію;
- підвищення несучої здатності, що відповідає вимогам руху;
- покращення міцнісних властивостей: зниження водопроникності та підвищення ерозійної стійкості;
- захист основи та нижніх шарів дорожнього одягу, характеристики яких іноді нижче від тих, що вимагаються.

Рециркулювання покриттів конкурує з класичною технологією відновлення, що полягає у перекритті існуючого покриття асфальтобетоном, мінеральними матеріалами, укріпленими цементом, або цементобетоном. Обидва методи мають однакову мету – підвищення структурних властивостей покриття, проте рециркулювання вигідно відрізняється повторним використанням існуючих матеріалів та меншою зміною відміток поверхні.

Цей процес можна розглядати як стабілізацію з введенням добавок, оскільки в'язучий матеріал додається до існуючого матеріалу і тим самим змінює фізичні та механічні властивості суміші.

Значною перевагою холодного рециркулювання на дорозі є те, що воно не вимагає транспортування матеріалів на завод.

2.3.4. Переваги та недоліки рециклювання на дорозі

Переваги та недоліки рециклювання на дорозі у порівнянні з традиційною технологією влаштування верхніх шарів наведені нижче.

2.3.5. Переваги

Рециклювання покриттів на дорозі дозволяє:

- повторно використовувати старі, забруднені і не цілком придатні матеріали існуючих покриттів;
- забезпечити однорідність покриття, як за міцністю, так і за геометрією;
- знизити обсяги відходів та зменшити добування матеріалів у кар'єрах, забезпеченням відповідних екологічних вигод;
- забезпечити можливість відновлення окремих смуг дороги з двома та більше смугами руху, де відбуваються найбільш часті руйнування покриття під дією найбільших транспортних навантажень;
- зменшити незручності, пов'язані з роботою транспорту при звичайних ремонтних роботах;
- знизити можливість руйнування мережі другорядних доріг, що примикають, зважаючи на зменшення об'єму транспортування нових матеріалів;
- зменшити витрати на відновлення зношених покриттів [31];
- уникнути необхідності після рециклювання підвищувати відмітки укріплених узбіч та бордюрних огорож; а також зменшувати габарити проїзду під мостами;
- виконувати роботи одночасно з розширенням існуючої дороги, що часто трапляється при підвищенні відміток покриття. Тим самим можна уникнути влаштування вузьких смуг, характерних для робіт з розширення.

2.3.6. Недоліки

Рециклювання покриттів на дорозі може привести до:

- більш низької однорідності матеріалу в порівнянні з новою сумішшю;
- можливості появи поздовжніх тріщин, якщо суміжні смуги були недостатньо зв'язані;
- більш тривалого часу відновлення, в порівнянні з влаштуванням захисних шарів перекриття з асфальтобетону, в тих випадках, коли не потрібне фрезування покриття.

2.3.7. Особливості рециклювання на дорозі цементом

Рециклювання покриттів на дорозі цементом дозволяє відновлювати зношені або пошкоджені покриття так, щоб вони задовольняли умови руху. Якщо покриття має значні деформації, то повинне бути проведене спеціальне дослідження з розрахунку необхідної товщини шару перекриття. Рециклювання із застосуванням цементу дає можливість отримати однорідний та стійкий шар необхідної товщини, механічні властивості якого близькі до властивостей цементогрунту або укріпленої цементом основи.

У результаті рециклювання цементом несуча здатність дорожнього одягу істотно зростає, і навпаки, прогинання покриття, напруження та деформації в шарах дорожнього одягу, які розташовані нижче, значно знижуються. Більш того, існуюча колійність на покритті може бути відповідним чином виправлена шляхом збільшення товщини укріпленого шару.

Усадка рецикльованого за допомогою цементу матеріалу може привести до появи відображених тріщин на поверхні. Виникнення відображених тріщин може бути зведено до мінімуму або повністю виключено шляхом попереднього нарізання пазів у рецикльованих цементом шарах, на невеликій відстані один від одного [22]. Товсті шари з асфальтобетону поверх рецикльованого шару дозволяють запобігти виникненню відображених тріщин. У той же час, тонкі тріщини, товщиною менше 0,5 мм, якщо за ними забезпечений догляд, не матимуть негативного впливу на якість покриттів доріг з низькою інтенсивністю руху.

2.3.8. Порівняння рециклювання з укладанням нового шару покриття

Вибір одного з двох можливих рішень повинен ґрунтуватися на техніко-економічному підході, який включає такі показники:

- сумарну величину витрат на реалізацію функціонально еквівалентних рішень, що включають розширення покриття та зміцнення узбіч, якщо це необхідно;
- очікувані результати рециклювання, які ґрунтуються як на дослідженні існуючих в покритті матеріалів, так і на складі нової суміші;
- кінцева якість нового покриття, з урахуванням його відповідності вимогам руху та розрахунковому терміну служби, його експлуатаційної якості залежно від кліматичних умов і очікуваних експлуатаційних витрат;
- наявність місцевих матеріалів та вартість нових матеріалів, якщо це необхідно;
- рішення задач, пов'язаних з габаритами мостів, з'їздів і т.ін.

Ухвалення рішення залежить від технічних, екологічних та економічних складових.

У різних країнах використовуються різні підходи, що базуються на потребах країни, технічних нормативах, технологіях, наявних ресурсах і т.д.

2.4. ПОПЕРЕДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.4.1. Вступ

До рециклювання дорожніх одягів необхідно виконати серію досліджень, метою яких є:

- встановлення можливості рециклювання;
- вибір виду рециклювання;
- визначення, за допомогою лабораторних випробувань, характеристик матеріалу, що рециклюється, та розрахунок складу суміші.

2.4.2. Здійсненність рециклювання

Для того, щоб бути упевненим в здійсненності рециклювання дорожнього одягу, необхідно встановити, що є головною причиною пошкоджень дорожнього одягу: незадовільна якість самого дорожнього одягу (недостатня товщина, забруднення шарів з кам'яних матеріалів глинистими частинками, відсутність зв'язку між шарами з асфальтобетону і т.ін.) або проблеми, пов'язані із земляним полотном і нижніми шарами основи. Рециклювання з використанням цементу зазвичай доцільно у першому випадку.

При рециклюванні безпосередньо на дорозі джерелом мінеральних матеріалів служить існуючий дорожній одяг. Щоб встановити можливість його рециклювання, необхідно наперед знати товщину шарів дорожнього одягу та характеристики матеріалів, які знаходяться у кожному шарі.

Рециклюванню підлягають практично будь-які матеріали існуючих дорожніх одягів, за винятком таких, які характеризуються переривистою гранулометриєю, наприклад маकाдам. Такі матеріали потребують корегування зернового складу (за допомогою піску, дрібних зерен щебеню) або корегування як швидкості обертання ротора фрези, так і положення ріжучих лопаток. З іншого боку, при розпушуванні шарів дорожнього одягу, які включають мінеральні матеріали з розміром частинок більше 80 або 100 мм, можуть бути потрібні спеціальні машини.

Крім цього, присутність у шарі деяких речовин органічного походження, сульфідів (піритів) або сульфатів (гіпсу) може загальмувати або зупинити процес твердіння цементу.

Здійсненність рециклювання повинна бути встановлена, виходячи з інформації про конструкції дорожнього одягу та характеристик матеріалів у ньому. Для цього необхідно обстежити дорогу, визначити характеристики матеріалів у дорожньому одязі та зібрати дані про клімат та інтенсивність руху транспортних засобів.

2.4.3. Обстеження існуючої дороги

Збір даних про технологію будівництва та утримання дороги

Очевидним початком робіт з обстеження є збір інформації з усіх видів робіт, виконаних раніше на дорозі. Це дозволить заощадити час та дасть можливість зменшити кількість виритих шурфів та випробовуваних зразків, потрібних для отримання необхідної інформації. Така інформація включає дані про конструкцію дорожнього одягу, товщину його шарів та характеристику матеріалів. Корисно заздалегідь розділити дорогу на відносно однорідні ділянки (по можливості, достатньо великої довжини) за характеристиками шарів існуючого дорожнього одягу та інтенсивністю руху.

Інспекція існуючого покриття

Інспекція покриття потрібна для оцінки експлуатаційного стану дорожнього одягу, а також типу та товщини його шарів. Вона повинна включати візуальну оцінку пошкоджень покриття. Повинні бути зареєстровані всі пошкодження, особливо такі їх характеристики як:

- рівень пошкодження та ступінь розповсюдження;
- ділянки з однаковим типом або рівнем пошкодження;
- ділянки, які потребують виправлення висотних відміток та похилів;
- потенційні проблеми, пов'язані з бордюрами, колодязями, примиканнями та бар'єрним огородженням;
- окремі, особливо сильно пошкоджені місця, що вимагають індивідуального відновлення;
- проблеми, пов'язані із земляним полотном, насипами та особливо із водовідвідними спорудами;
- відповідність геометричних параметрів покриття вимогам до даної категорії дороги.

Необхідно також зібрати інформацію про конструкції та стан укріплених узбіч, встановити та записати глибину закладення всіх підземних комунікацій. Якщо труба проходить ближче 150 мм від низу дорожнього одягу, це повинно викликати побоювання.

Ступінь оцінки стану дорожнього одягу (прогини, колійність, товщина, конструкція і т.ін.) залежатиме від вимог до посилення покриття.

У деяких випадках може бути нелегко з'ясувати конструкцію дорожнього одягу, який рециркулюється. У такій ситуації можна використовувати поверхневий радар для встановлення консистенції шарів дорожнього одягу на ділянці, яка функціонує, при швидкості руху автомобіля від 60 до 80 км/год. Фіксування змін у шарах за допомогою такого радара ґрунтується на вивченні електромагнітних хвиль та аналізі відображеної хвилі. Проте цей пристрій не

може визначити ні конструкцію, ні товщину шарів дорожнього одягу, і отримані результати потребують узгодження з результатами, отриманими при ритті шурфів та дослідженні кернів.

На основі зібраної інформації дорога може бути розділена на однорідні ділянки за близькими значеннями інтенсивності руху, типу та стану покриття, а також за вимогами до посилення покриття.

Відбір кернів та влаштування шурфів

Ділянки з близькими властивостями повинні служити основою для формулювання програми вирізування кернів та влаштування шурфів (рис. 2.4) з метою визначення та/або фіксування товщини шарів та характеристик матеріалів дорожнього одягу і земляного полотна як для проїжджої частини, так і для укріплених узбіч.

Кількість проб, що відбираються з кожної ділянки, повинна бути достатньою для отримання достовірних даних. Вона залежатиме від виду та значення роботи. У середньому достатньо двох кернів та одного шурфу на кожний кілометр. У поперечному перетині шурфи зазвичай виконуються із зовнішньої сторони смуги руху. Вони повинні включати і ґрунт земляного полотна, оскільки необхідно встановити як характеристики матеріалів у шарах дорожнього одягу, так і характеристики ґрунту.

Особливу увагу потрібно приділяти старим покриттям на ділянках, де проводилися роботи з ремонту, розширення дороги або ліквідації нерівностей покриття, оскільки вони містять різні матеріали, деякі з яких можуть бути поганої або незадовільної якості.

Досвід виконання робіт з рециркулювання показує, що варіації товщин шарів, рівня прогинів або стану земляного полотна та основи часто виявляються досить значними. Це може потребувати подальшого розділення ділянок доріг на більш однорідні смуги. З другого боку, рекомендується призначати довжину кожної ділянки не менше 500 м.

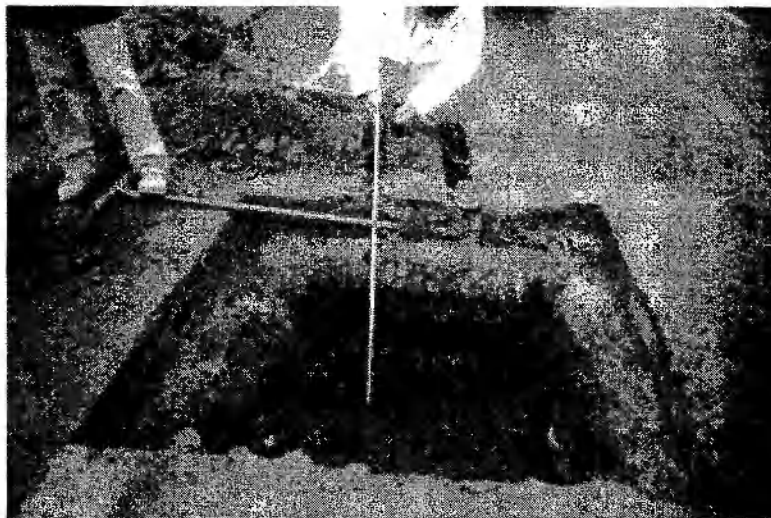


Рис. 2.4. Шурф у дорожньому одязі

2.4.4. Встановлення властивостей матеріалів покриття

Зразки, узяті з дорожнього одягу, повинні бути випробувані у лабораторії з метою встановлення:

- структури і вмісту води у ґрунті земляного полотна;
- структури і вмісту води у матеріалах різних шарів дорожнього одягу;
- наявності інших продуктів, які можуть призупинити або навіть не допустити твердіння цементу.

Для цього необхідно виконати такі операції.

Ідентифікація матеріалів

Зерновий склад залежатиме від глибини рециклювання (чим вона більше, тим вище кількість незв'язних мінеральних матеріалів), тому встановлення гранулометричного складу допоможе визначити чи необхідне його корегування (рис.2.5). Вибір проб повинен якомога точніше відповідати складу матеріалу, який отримується в ході фрезерування дорожнього одягу.

Під час аналізу дрібнозернистих мінеральних складових кількість та активність тонких глинистих частинок у матеріалі повинна встановлюватися або за їх індексом пластичності (PI), або методом метиленового блакитного фарбника (MBV).

Значення PI або MBV послужать першим індикатором того, чи потрібно здійснювати рециклювання із застосуванням вапна або цементу, щоб нейтралізувати вплив глинистої складової. Це необхідно тільки у випадку, коли величина PI вище 15 та вміст пластичних дрібних частинок високий, але навіть у цьому випадку необхідність зміцнення вапном повинна бути підтверджена лабораторними випробуваннями.

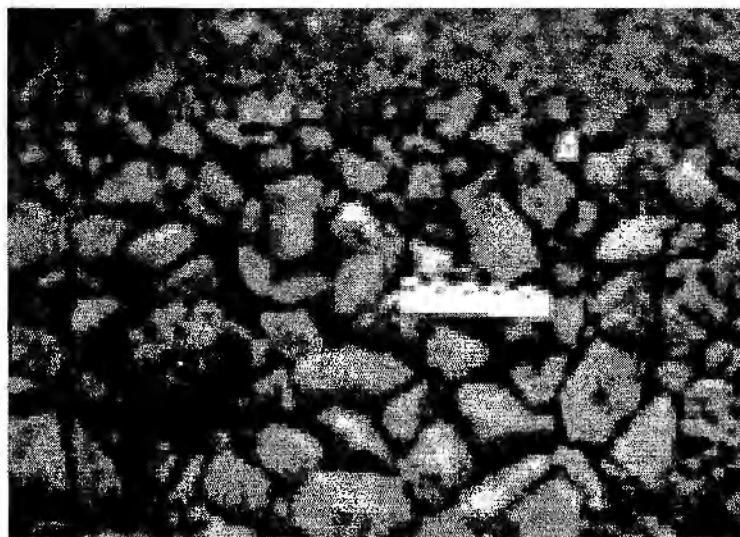


Рис. 2.5. Матеріал, що вимагає корегування зернового складу при рециклюванні

Визначення вологості матеріалів

Вологість матеріалів є важливою характеристикою у проекті рециклювання. Для цього повинні бути визначені:

- природна вологість, $W_{\text{пр}}$, матеріалу, що рециклується, з урахуванням впливу на неї кліматичних умов;

- оптимальна вологість, $W_{\text{опт}}$, при якій досягається максимальна щільність матеріалу $\rho_{\text{опт}}$. Обидва параметри $W_{\text{пр}}$ та $W_{\text{опт}}$ визначаються або за допомогою модифікованого методу Проктора, AASHTO, або іншими стандартизованими випробуваннями, які базуються на залежності щільності від вологості. Вони використовуються як еталонні значення для контролю процесу ущільнення.

Порівнянням значень природної та оптимальної вологості встановлюється кількість води, яка повинна бути доставлена на дорогу для здійснення рециклювання. Якщо встановлено, що $W_{\text{пр}}$ вище, ніж $W_{\text{опт}}$, то відфрезований матеріал повинен бути просушений до введення у нього в'язучого.

Виявлення випадкових інгібіторів твердіння

Додатково до описаної вище послідовності випробувань, в ході лабораторного дослідження повинна бути виявлена наявність речовин, які можуть ослабити в'язучу активність цементу. Такими речовинами, що впливають на властивості цементу та на його твердіння, є сульфати (гіпс), сульфіди (пірит) та органічні речовини.

Отриманої в результаті випробування інформації достатньо для прийняття рішення про здійсненість рециклювання з використанням цементу, та, якщо рішення позитивне, то виконати повний розрахунок складу суміші.

2.4.5. Водовідведення та клімат

Як і для усіх ремонтно-відновлювальних робіт, необхідно обстежити та відремонтувати водовідвідні споруди на дорозі, які включають: канави, пристрої для поверхневого водовідведення, підземні дренажні системи і т.ін. У певних умовах може бути розумним на цій стадії відремонтувати окремі ізольовані ділянки, що характеризуються низькою несучою здатністю.

Погодні умови під час робіт у меншій мірі впливають на рециклювання на дорозі з використанням цементу, ніж на інші способи рециклювання, оскільки роботи можуть виконуватися при температурі повітря аж до плюс 2°C. У тому випадку, коли найближчої ночі очікується морозна погода, рецикльований шар повинен бути захищений поліетиленовою плівкою.

Під час зливи, що може істотно вплинути на вміст вологи у суміші, яка ущільнюється, роботи необхідно припинити.

2.4.6. Розрахункова інтенсивність руху

Оскільки рециклювання ведеться на дорогах, які вже експлуатуються, те визначення інтенсивності руху на них легше виконати, ніж на нових дорогах. Залежно від методу розрахунку, інтенсивність руху в одному напрямку може бути визначена різними способами:

- як середньодобова інтенсивність руху вантажних автомобілів протягом першого року після відновлення дороги;
- як сумарна кількість вантажних автомобілів за розрахунковий термін служби;
- як сумарна кількість еквівалентних стандартних осьових навантажень.

Якщо необхідні дані неможливо отримати, то інтенсивність можна встановити до ремонтних робіт. Особливу увагу необхідно приділяти тим дорогам, на яких спостерігається сезонне зростання інтенсивності руху (сільським, лісовим і т.ін.).

2.4.7. Схеми розширення та укріплені узбіччя

Обстеження дороги повинно розповсюджуватися і на існуючі укріплені узбіччя. Влаштування шурфів у межах проїжджої частини повинно бути доповнено їх риттям у межах узбічч з метою встановлення товщини різних шарів та відбору проб для лабораторних випробувань. Часто відновлення дорожнього одягу за допомогою рециклювання на дорозі застосовується також для розширення проїжджої частини та підвищення несучої здатності твердих узбічч. Для розширення повинен застосовуватися новий зернистий матеріал, характеристики якого не повинні відрізнятися від характеристик матеріалу, що рекомендується. Якщо це економічно не вигідно, розширення може бути виконано з використанням цементогрунтової суміші, виготовленої на заводі. Кінцевою метою має бути забезпечення якомога більш високої однорідності дорожнього одягу у поперечному напрямку після розширення та рециклювання.

2.5. ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ СУМІШІ

Рециклювання дорожнього одягу не повинно починатися, доки не буде здійснений розрахунок та прийнятий склад суміші. При проектуванні складу суміші повинні враховуватися такі дані.

2.5.1. Зерновий склад

Метою ситового аналізу є встановлення прийнятності зернового складу. Якщо зерновий склад неприйнятний, то повинно бути ухвалено рішення про

спосіб корегування складу наприклад, додавання нових матеріалів. Необхідно пам'ятати, що матеріал отриманий у процесі фрезування покриття і при цьому можуть утворитися зерна та агрегати різного розміру.

Якщо зерновий склад вимагає корегування, то найпростішим рішенням є додавання до суміші нового матеріалу, проте воно не є єдиним. Більш крупні мінеральні зерна можуть бути видалені або подрібнені. Деякі машини-ресайклери оснащені регульованою ущільнюючою плитою або брусом для подрібнення, які дозволяють зменшити максимальний розмір мінеральних зерен.

Слід підкреслити, що крупні шматки асфальтобетону можуть бути причиною значного відхилення у зерновому складі суміші.

Глибина рециклювання також може істотно впливати на гранулометрію (чим більше глибина рециклювання, тим вище вміст шарів зернистих матеріалів без бітуму). Наприклад, верхні шари дорожнього одягу представляють собою асфальтобетон (гарячий або холодний) різної гранулометрії. У тих випадках, коли невідома точна товщина шарів з в'язучими матеріалами, рекомендується визначати зерновий склад для різних глибин рециклювання.

Існує декілька рекомендацій з встановлення необхідного зернового складу, які базуються на вимогах для укріплених цементом основ та залежності Талбота [21]:

$$Y = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0.4},$$

де Y – частинки, що пройшли сито з розміром « d » %;

d – розмір вічка сита, мм;

D – максимальний розмір зерна, мм.

2.5.2. Вміст води

Повинен бути встановлений вміст води у матеріалі, призначеному для перемішування з в'язучим.

2.5.3. Щільність суміші

Як правило, середня щільність повинна бути не менше 97% від необхідного значення (модифікований метод Проктора, AASHTO).

2.5.4. Цемент та інші добавки

Оптимальний вміст цементу

Вміст цементу повинен бути оптимальним з економічної точки зору, забезпечуючи отримання необхідної міцності та запобігаючи появі усадкових

тріщин протягом якомога більшого періоду часу. Для встановлення оптимального вмісту цементу необхідно виготовити як мінімум три серії зразків. Зразки виготовляють з матеріалів, які передбачається отримати після фрезерування існуючого дорожнього одягу, з додаванням, якщо це необхідно, нових матеріалів, та з варіюванням вмісту цементу. Зразки повинні бути ущільнені до мінімально необхідної щільності на дорозі [34] при оптимальному вмісті води (як це рекомендується у відповідному методі випробування «щільність – вологість»), а потім випробувані на міцність на стиск у віці 7 діб.

Уточнений вміст цементу встановлюють на зразках, ущільнених до щільності, що відрізняється на $\pm 2\%$ від встановленої раніше. У такий спосіб може бути визначений мінімальний вміст цементу, який гарантує досягнення такої ж міцності, що й на дорозі. При великих обсягах робіт бажано також провести випробування зразків на міцність на стиск через 28 та 90 діб, а також випробування на розтягування. Корисною буде також інформація про модуль пружності.

Види цементу

Під час рециркулювання вид цементу є менш важливим порівняно із вмістом цементу та досягнутою щільністю. Більшість цементів, що є на ринку, може застосовуватися з цієї метою, і вибір залежатиме від їх доступності та ціни. Проте деякі практичні рекомендації можуть бути корисні, і вони наведені нижче.

Як правило, якщо у розпорядженні є цементи різних класів міцності, перевагу слід давати цементам з середньою міцністю (наприклад, класу 32,5 згідно з Європейським стандартом EN 197, частина 1). Такі в'язучі, які мають не дуже високу міцність, збільшуватимуть період зручнооброблюваності, зменшуватимуть теплоту гідратації та сприятимуть зменшенню кількості усадкових тріщин. Цемент більш високої міцності (наприклад, класу 42,5 за EN 197: частина 1) може використовуватися виключно у випадках рециркулювання при низьких температурах.

Проте необхідно відзначити, що використання цементів високих марок може привести до виключно низького їх вмісту (від 2 до 2,5% по масі від сухого матеріалу). При такому невисокому вмісті цементу вимоги за міцністю можуть бути забезпечені, але не можна буде гарантувати отримання однорідної суміші на основі рециркульованого матеріалу. Крім того, такий низький вміст цементу (близько 15 кг/м²) викличе необхідність подавання його до змішувача у вигляді розчину. Нарешті, суміші з цементами високих марок будуть мати менший час зручнооброблюваності при їх ущільненні.

Якщо використовуються цементи класу міцності 32,5 або нижче, вміст в'язучого коливається від 3 до 6 %, що, як правило, не створює проблем з забезпеченням однорідності суміші.

Найпридатнішими для рециклювання (та, загалом, для всіх матеріалів, укріплених цементом та ущільнених котками) є цементи з високим вмістом в них таких добавок, як природні або штучні пуцолани або гранульовані доменні шлаки, наприклад:

- пуцоланові цементи (CEM 1У);
- композитні портландцементи (CEM 11);
- шлакові цементи (CEM 111);
- композитні цементы (CEM У) згідно з Європейським Стандартом EN 197;
- гідравлічні в'язучі, включені до стандарту ASTM 3 595 [35].

Додатково до вище зазначених переваг, пов'язаних з більш низькою міцністю цементів, слід відзначити, що наявність в них пуцоланів та/або шлаку покращуватиме довговічність рецикльованого матеріалу у присутності агресивного середовища. Суміші на шлакових цементах є також більш стійкими до дії сульфатів.

Композитні цементи характеризуються більш повільним процесом гідратації та, як наслідок, вони мають більш високу швидкість випаровування води. За відсутності належного догляду максимальна міцність буде нижче тієї, що вимагається. Такої проблеми не виникає, якщо зразу після завершення ущільнення влаштовується захисний шар з бітумною емульсією. Рецикльований матеріал повинен утримувати воду протягом часу укриття його захисним шаром. У свою чергу, захисний шар догляду може потребувати його захисту від руйнування технологічним транспортом, і цього може бути досягнуто розподіленням по захисному шару піску або дрібного щебеню.

Європейські цементи, класифіковані у стандарті EN 197, не слід плутати з портландцементом ASTM аналогічних властивостей, включеним до стандарту ASTM C150. У цьому цементі відсутні добавки, і єдиним цементом подібного виду є CEM I.

Інші в'язучі, спеціально призначені для рециклювання дорожнього одягу та укріплення ґрунтів, називаються «спеціальними дорожніми в'язучими», включеними до стандарту CEN ENV 13282 [14]. Це є виготовлені на заводі цементи, які можуть містити невелику кількість клінкеру. Такі цементи містять більш крупні частинки порівняно зі звичайними цементами, і вони відрізняються дуже повільним тужавінням. В результаті легко досягається період зручнооброблюваності більше 10 годин. Випускаються такі цементи у декількох країнах, включаючи Францію [19], Німеччину [27] та Австрію [26], [28].

Останнім часом все більше застосовуються гідравлічні дорожні в'язучі, серед яких можна виділити такі їх різновиди:

- цементи, що не пилять, призначені для зниження забруднення навколишнього середовища при роботах у міських районах або заповідних місцях. Для цього придатні різні цементи, включаючи цементи з добавками тефлону та спиртових добавок [24];

– спеціальні в'язучі, які мають характеристики, властиві як цементу, так і вапну, які придатні для рециклювання дорожнього одягу з високим вмістом глини [17].

2.5.5. Терміни зручнооброблюваності

Період зручнооброблюваності укріплених цементом матеріалів визначається часом до початку тужавіння матеріалу. Час, необхідний для ущільнення рецикльованого матеріалу, повинен бути встановлений заздалегідь, виходячи з очікуваної температури повітря у процесі робіт. Це дасть можливість виконувати ущільнення матеріалу без зниження його механічних властивостей при твердінні.

Коли починається процес гідратації цементу, відбувається з'єднання мінеральних зерен. Сили, які виникають при ущільненні котками, можуть зруйнувати зв'язки між частинками. Крім того, чим більш міцним стає матеріал, тим складніше його ущільнити. Тому ущільнення повинно бути завершено до того, як сформуються зв'язки між мінеральними агрегатами.

Термін зручнооброблюваності не слід плутати з терміном тужавіння цементу, який є тільки одним з багатьох параметрів, які впливають на строк зручнооброблюваності. Властивості матеріалів, вміст води або кліматичні умови також є чинниками, які мають суттєвий вплив на терміни зручнооброблюваності. Наприклад, при всіх рівних умовах, термін зручнооброблюваності при 30°C приблизно в два рази менше, ніж при 20 °C.

Існує декілька способів визначення терміну зручнооброблюваності. Найпростіший з них базується на оцінці ступеня зниження щільності зразків, ущільнених через певний проміжок часу після перемішування суміші. За термін зручнооброблюваності приймається такий час, коли щільність складе 98 % від щільності зразків, виготовлених зразу після перемішування.

Інший спосіб базується на скороченні часу проходження ультразвукових хвиль, який фіксується безперервно в процесі тужавіння зразків [7]. За термін зручнооброблюваності приймається період часу, коли час проходження ультразвуку знижується до значення, що становить 60 % від вихідного. Ці випробування повинні виконуватися при середній величині температури, очікуваній на дорозі.

Важливо також завершити ущільнення смуги до завершення терміну зручнооброблюваності на суміжній смузі. У такому випадку котки не матимуть руйнуючого впливу на раніше укладений матеріал, та між смугами не буде сформований «холодний шов».

Якщо потрібна обробка поверхні, то вона повинна бути здійснена до завершення процесу ущільнення. Важливо також, щоб завершальні проходи котка були виконані до закінчення терміну зручнооброблюваності.

2.6. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЦИКЛЬОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Знання механічних характеристик укріплених цементом рецикльованих матеріалів необхідне як для розрахунку складу суміші, так і для розрахунку товщини шару, тобто товщини як рецикльованого шару, так і асфальто-бетонного покриття.

Тому механічні властивості рецикльованого матеріалу повинні бути відомі до початку будівництва. Це найбільш складно для технології рециклювання, оскільки матеріали є досить неоднорідними та складно встановити, якою буде гранулометрія рецикльованого матеріалу після фрезування.

Стосовно неоднорідності, то рівень розкиду різних механічних властивостей укріплених цементом рецикльованих матеріалів дуже широкий: показники міцності при розтягуванні змінюються від 0,4 до 2 МПа, і ці значення отримані на кернах, вилучених з рецикльованих дорожніх одягів через 1 – 2 роки після влаштування. Відповідні модулі пружності змінюються в межах від 3500 до 3750 МПа [9].

Таким чином, деякі суміші, рецикльовані за допомогою цементу, поведуться подібно зернистим матеріалам укріпленим цементом, тоді як інші ближче до цементогрунту, не зважаючи на те, що у багатьох випадках вміст в них цементу (4,5 – 6 %) перевищує ті, що традиційно використовуються при виконанні робіт з улаштування укріплених цементом основ.

Ряд чинників також може сприяти отриманню таких різних показників [5]:

- низька якість мінеральної складової дорожнього одягу;
- забруднення зернистих шарів дорожнього одягу глиною;
- частина відфрезованих асфальтобетонних матеріалів містить агрегати з низькою міцністю;
- можливість утворення частинок, повністю або частково покритих цементним в'язучим, що характеризуються більш низькою міцністю (при фрезуванні шарів з укріплених цементом матеріалів).

Додатково до значних відмінностей матеріалів, що рециклуються, ряд інших факторів впливають на розкид значень механічних властивостей, серед них:

- вміст цементу;
- ефективність процесів фрезування та перемішування;
- щільність після ущільнення;
- вміст води;
- проміжок часу після рециклювання.

У будь-якому випадку, шари, рецикльовані з додаванням цементу, мають високий модуль пружності і відповідно високу несучу здатність, що приводить до істотного зменшення прогинів, а також напружень та деформацій в основі земляного полотна.

У зв'язку з цим необхідно відзначити, що у Франції для проектування шарів, рецикльованих з додаванням цементу, запропоновані [9] значення модулів пружності (у віці 1 року) від 11000 до 20000 МПа, які наведено у табл. 2.1.

Важливою особливістю наведених у табл. 2.1 даних є те, що не тільки властивості вихідних матеріалів, але й використане обладнання та якість процесу рециклювання впливають на величину показників властивостей.

Значення модулів пружності у табл. 2.1 є тільки приблизними. У ряді лабораторних досліджень чітко встановлений вплив складу відфрезованого асфальтобетону як на механічні властивості, так і на модуль пружності матеріалу із рецикльованої суміші з додаванням цементу [25]. Виявилося, що коли вміст асфальтобетонного матеріалу нижче 50 %, то міцність при вигині, яка найбільшою мірою відповідає за якість матеріалу, рецикльованого з додаванням цементу, змінюється несуттєво, хоча й спостерігається зниження модуля пружності. Це повинно привести до зниження схильності покриттів до тріщиноутворення. Але ці дані потребують підтвердження додатковими дослідженнями.

Таблиця 2.1

Значення модулів пружності (у віці 1 рік), які пропонуються для проектування конструкцій дорожнього одягу з шарами з матеріалів, рецикльованих з додаванням цементу

Характеристики рециклювання		Модуль пружності E (МПа)
Матеріал існуючого дорожнього одягу	Виконання	
Мінеральна частина хорошої якості та однорідного зернового складу	Висока якість розподілу в'язучого та рециклювання	20000
Інші випадки	Висока якість розподілу в'язучого та рециклювання	16000
Мінеральна частина хорошої якості та однорідного зернового складу	Інші випадки	16000
Інші випадки	Інші випадки	11000

Виходячи з аналізу цих результатів та досвіду рециклювання дорожнього одягу, можна зробити висновок, що у більшості випадків рециклювати пошкоджений дорожній одяг з додаванням цементу можна з повним або частковим зняттям існуючих шарів з асфальтового бетону [16]. Оптимальним вважається варіант, коли товщина шарів на основі бітуму не перевищує 1/3 загальної глибини рециклювання [5].

Очевидно, що необхідно накопичувати більше інформації про залежності між показниками механічної міцності матеріалів, рецикльованих із застосуванням цементу, оціненими різними методами (на стиск, при згинанні, при розколі).

Стосовно утомної поведінки матеріалів, рецикльованих з додаванням цементу, то їх можна вважати подібними віброущільненим бетонам або укріпленим цементом зернистим основам, тобто крива утомленості, яка представляє собою залежність між рівнем напруження та повторними навантаженнями, має відносно невеликий нахил [1, 5]. У результаті, незначне підвищення напружень у шарі з матеріалу, рецикльованого з додаванням цементу, викликане, наприклад, зменшенням фактичної товщини, приводить до значного зменшення кількості транспортних навантажень, яку дорожній одяг може витримати. Як наслідок, контрольна товщина шарів із матеріалу, рецикльованого з додаванням цементу, повинна бути не менше 20 см, щоб уникнути утворення ділянок з тонкими шарами, які будуть схильні до передчасного утомного руйнування.

Отримані для таких матеріалів утомні залежності, як правило, представляються у такому вигляді:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = 1 - \frac{1}{a} \log N ,$$

де σ – напруження при вигині під дією осьового навантаження P , кН;

σ_0 – міцність при вигині (кН);

a – коефіцієнт, що змінюється від 12 до 16;

N – кількість циклів прикладення навантаження.

2.7. ПРОЕКТУВАННЯ ПОКРИТТІВ З МАТЕРІАЛІВ, РЕЦИКЛЬОВАНИХ ІЗ ДОДАВАННЯМ ЦЕМЕНТУ

Проектування покриттів із матеріалів, рецикльованих з додаванням цементу, полягає у визначенні товщини як рецикльованого шару, так і товщини захисного асфальтобетонного покриття.

Для захисту рецикльованого шару застосовують, головним чином, гарячі асфальтобетонні суміші, за винятком другорядних доріг (з інтенсивністю руху менше 50 вантажних автомобілів за добу), на яких застосовують холодні асфальтобетонні суміші або подвійну поверхневу обробку.

Спосіб холодного рециклювання безпосередньо на дорозі з використанням домішок цементу доцільно застосовувати, коли намічене для відновлення покриття має значні руйнування та прогини.

Важливо відмітити, що рециклювання з додаванням цементу є технологією повного відновлення. Це значить, що розрахунок рецикльованого дорожнього одягу не залежить від прогинів існуючого дорожнього одягу. Безпосередньо на дорозі встановлюють доцільність рециклювання існуючого дорожнього одягу, розділяють дорогу на ділянки та виділяють смуги, які вимагають попередніх ремонтних робіт (наприклад, дренажних). Проте, коли ухвалюється рішення про необхідність рециклювання, загальна товщина

шарів дорожнього одягу, що рецикуються, і товщина захисного асфальтобетонного шару не залежать ні від прогинів, що спостерігаються, ні від стану існуючого дорожнього одягу. Шари з рецикльованих з додаванням цементу матеріалів мають високу несучу здатність внаслідок значної їх товщини та високого модуля пружності.

Слід брати до уваги, що у багатьох випадках земляне полотно під дорожнім одягом сприймає значні додаткові стискаючі зусилля, викликані рухом технологічного транспорту, у тому числі й самого ресайклера. Несучу здатність основи, яка знаходиться під рецикльованим шаром, що включає земляне полотно та незаймані шари дорожнього одягу, оцінюють показником міцності за CBR, рівним більше 20%. Якщо виникають будь-які сумніви, то несуча здатність нижніх шарів основи може бути визначена у шурфі пенетрометричним методом або шляхом виміру прогинів поверхні (у більшості випадків, прогин найбільш віддаленого геофону від центру навантажуючої плити дефлектометра залежить головним чином від властивостей земляної основи) [2].

Очевидно, що проектування конструкції дорожнього одягу з рецикльованим шаром буде залежати головним чином від інтенсивності вантажного руху та від властивостей матеріалу, який буде отриманий в результаті рециклювання. Ці властивості є функцією як характеристик незв'язного мінерального матеріалу у шарі основи, так і вмісту бітуму в існуючому асфальтобетонному шарі та їх товщини. Слід зазначити, що не важко отримати рецикльовані з додаванням цементу матеріали, близькі за міцністю цементогрунтовим і навіть обробленим цементом мінеральним матеріалам.

Розрахунок товщини дорожнього одягу із рецикльованого з додаванням цементу матеріалу повинен здійснюватися так само як для нового одягу, при цьому можуть застосовуватися різні підходи.

Механістичний метод

У цьому методі дорожній одяг та ґрунтова основа представлені у вигляді моделі багатошарової лінійно-пружної системи.

Необхідно встановити модуль пружності та коефіцієнт Пуассона як для шару із рецикльованого матеріалу, так і для основи, а також параметри існуючих шарів, які залишилися незайманими. Як зазначалося вище, діапазон значень модулів пружності E матеріалів, рецикльованих із застосуванням цементу, дуже широкий. Якщо вміст відфрезованого асфальтобетону невеликий (наприклад, нижче 10%), а зернисті матеріали з нижніх шарів хорошої якості, то модуль пружності шару із рецикльованого матеріалу може досягати значення 20000 МПа [9].

У разі забруднення незв'язних шарів глиною, рецикльований матеріал за властивостями більш близький до цементогрунту, та очікувані значення модуля пружності складатимуть від 6000 до 10000 МПа. Значення коефіцієнта Пуассона приймається частіше за все рівним 0,25 [11].

Структурні коефіцієнти

Іншим підходом до розрахунку є встановлення структурного коефіцієнта для шару, що рециркулюється, а потім використання деяких розрахункових методів, оснований на цій концепції, наприклад, методу AASHTO [2]. Так, коефіцієнт 0,5 рекомендується у Японії [30] для матеріалів, що характеризуються міцністю при стисканні у віці 7 діб, рівною 2,5 МПа. Це значення дещо нижче значення 0,55, що приймається для основ з укріплених цементом матеріалів, для яких регламентується більш висока міцність при стисканні (3,0 МПа) у віці 7 діб.

Каталоги

У деяких країнах (наприклад, в Іспанії [11], Великобританії [12] та Австралії [4]) використовуються методи проектування, представлені у вигляді каталогів конструкцій дорожнього одягу, або розрахункових номограм.

У табл. 2.2 представлені ділянки дорожнього одягу, що пропонуються у Іспанії для рециркулювання покриттів з додаванням цементу, виходячи з припущення, що міцність при стисканні рециркульованого шару на 7 добу складає 2,5 МПа. Ці ділянки розраховані на максимальне осьове навантаження 130 кН.

У всіх випадках застосування цих методів повинно проводитися з обережністю, беручи до уваги особливості складу руху транспорту (осьові навантаження), характеристики матеріалів у намічених для рециркулювання шарах дорожнього одягу, та місцеві кліматичні умови.

Необхідно відзначити, що товщина шару з рециркульованого з додаванням цементу матеріалу повинна прийматися не менше 20 см, щоб уникнути виникнення окремих ділянок з меншою товщиною, які можуть стати причиною передчасного руйнування у результаті низької утомної міцності.

З іншого боку, небажано проектувати шари покриття з рециркульованого з додаванням цементу матеріалу товщиною більше 35 см. Це обмеження пов'язане як з доступними сьогодні ресайклерами, так і ущільнюючими механізмами.

З урахуванням цих обмежень, можна стверджувати, що, в принципі, не існує жодних перешкод для влаштування шарів з рециркульованих з додаванням цементу матеріалів на дорогах з високою інтенсивністю руху, коли передбачається їх перекриття достатнім за товщиною шаром асфальтобетону. Не слід забувати, що матеріал, отриманий у результаті рециркулювання шарів дорожнього одягу з додаванням цементу, близький за властивостями до цементогрунту або укріпленої цементом щебеневої основи, які застосовуються для всіх категорій доріг та умов руху. Це підтверджено даними, отриманими на дорогах з високою інтенсивністю вантажного руху.

Таблиця 2.2

Ділянки дорожнього одягу для рециклювання з додаванням цементу, що рекомендуються в Іспанії (мінімальна міцність при стисканні на 7 добу: 2,5 МПа)

Середньодобова інтенсивність вантажного руху*	Шар, рецикльований з додаванням цементу, см	Захисний шар асфальтобетону, см
800-2000	35	15
400-800	35	12
200-400	30	12
100-200	25	12
50-100	25	10
25-50	22	8
12-25	20	5
< 12	20	Подвійна поверхнева обробка

* По розрахунковій смузі у рік відкриття руху.

Якщо характеристики існуючого дорожнього одягу такі, що в ньому недостатньо матеріалів для забезпечення необхідної товщини рецикльованого шару, допустимі варіанти:

- додатковий розподіл зернистого матеріалу поверх існуючого покриття, поки не буде забезпечено необхідну товщину (рис. 2.6 та 2.7);
- збільшення товщини асфальтобетонного покриття зверху рецикльованого шару;
- комбінація обох способів.

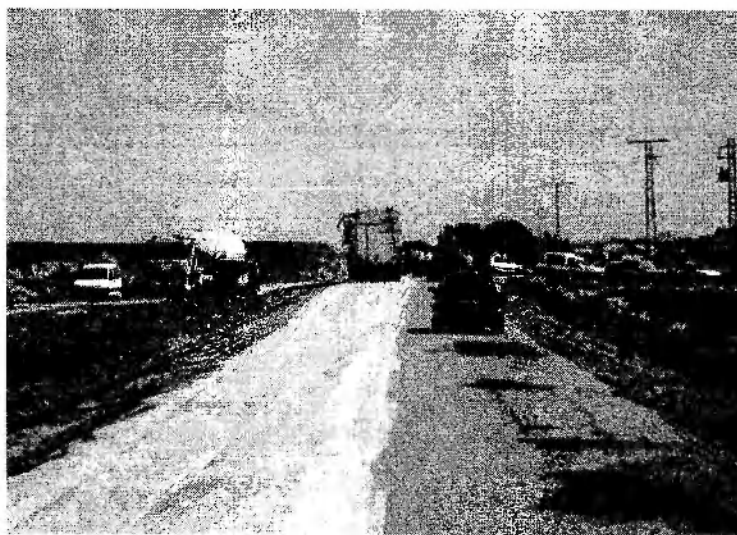


Рис. 2.6. Кам'яний матеріал, розподілений по існуючому покритті для покращення зернового складу суміші

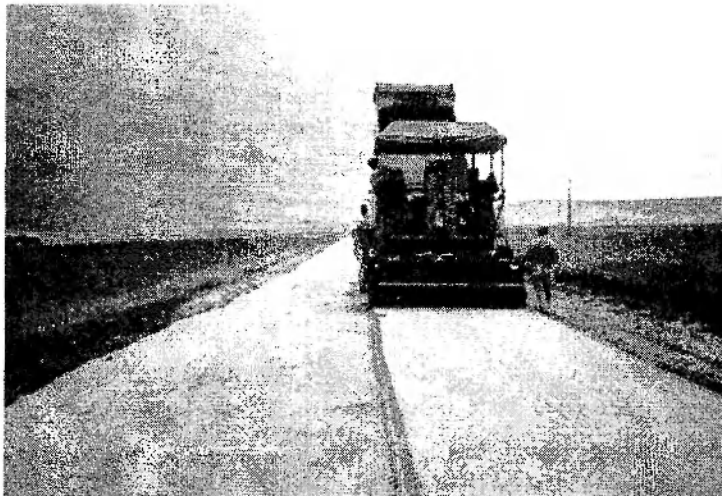


Рис. 2.7. Мінеральний матеріал, розподілений по існуючому покритті для забезпечення необхідної товщини шару, що рециклюється

2.8. МАШИНИ ДЛЯ РЕЦИКЛЮВАННЯ

2.8.1. Вступ

Процес рециклювання існуючого дорожнього одягу безпосередньо на дорозі з додаванням цементу може бути розділений на дві основні стадії:

- фрезування шару (шарів) дорожнього одягу на необхідну глибину та перемішування розпушеного матеріалу з додаванням цементу і води;
- ущільнення, що включає обробку поверхні рецикльованого шару та розподіл, при необхідності, бітумної емульсії для догляду за поверхнею.

Застосована технологія може значно змінюватися при рециклюванні доріг з низькою інтенсивністю руху, де товщина шару, що рециклюється, зазвичай незначна, а також доріг із середньою та високою інтенсивністю руху.

В останньому випадку, дорожній одяг, як правило, фрезується, а утворений матеріал перемішується з цементом та водою у спеціальній високопродуктивній машині (ресайклері).

На дорогах з невисокою інтенсивністю руху застосовуються різні машини (включаючи сільськогосподарське обладнання). Ресайклери також можуть використовуватися, особливо при значному обсязі робіт, для забезпечення високої швидкості та продуктивності операцій.

Після перемішування фрезованих матеріалів з цементом та водою наступні операції аналогічні тим, які виконуються при зміцненні ґрунтів або мінеральних матеріалів цементом. Деякі відмінності існують між машинами, які використовуються на коротких або довгих ділянках, хоча ущільнююче обладнання може змінюватися залежно від глибини фрезування.

У табл. 2.3 та 2.4 представлені відповідно різні окремі операції та необхідне обладнання для рециклювання дорожніх одягів з додаванням цементу на дорогах з низькою або високою інтенсивністю руху.

Таблиця 2.3

Машини та операції, що застосовуються при рециклюванні дорожніх одягів на дорогах з низькою інтенсивністю руху

Найменування операції	Мета	Типові машини
1	2	3
Руйнування дорожнього одягу (1)	Розпушування існуючого дорожнього одягу	– Фронтальний навантажувач з розпушувачем – Бульдозер з розпушувачем – Ресайклер
Видалення крупних елементів	Видалення елементів > 80 мм: – руйнуванням – видаленням	– Стаціонарні або мобільні установки для руйнування – Ручна робота – Сільськогосподарська техніка
Профілювання	Розподіл фрезованого матеріалу	– Автогрейдер
Додавання нового матеріалу	– Покращення зернового складу суміші – Виправлення поперечних похилів – Підвищення товщини шару, що фрезується	– Розподільувач матеріалів – Асфальтоукладач – Автогрейдер
Зволоження (2)	Забезпечення оптимальної вологості відповідно до методу випробування (Проктор, AASHTO...)	– Цистерна з розпилювачем води – Цистерна, приєднана до ресайклера – Бетонозмішувач (сларрі-змішувач)
Розподіл в'язучого	Введення в'язучого у кількості, що відповідає площі ділянки та глибині обробки	– Ручний розподіл (з мішків) – Механізований розподіл цементу (перед змішуванням) – Сларрі-змішувач (цемент та вода перемішуються і у вигляді розчину подаються до ресайклера)
Перемішування	Однорідне перемішування розпушеного матеріалу з в'язучим, водою та добавками	– Роторний плуг – Фреза з горизонтальним ротором – Ресайклер
Обробка	Видалення зайвого матеріалу із забезпеченням необхідного профілю	– Автогрейдер

Закінчення табл. 2.3

1	2	3
Нарізка поперечних швів	Запобігання появи відображених тріщин	– Ручні установки – Механізоване обладнання
Ущільнення	Досягнення необхідної щільності	– Коток
Влаштування шарів догляду та захисту	– Догляд за рецикльованою поверхнею – Захист шару догляду	– Цистерни для води (3) – Розподільвачі емульсії – Розподільники піску або щебеню + коток на пневмошинах

Примітка.

(1) У разі необхідності видалення крупних агрегатів, якщо застосовується ресайклер, ця операція виконується після розподілу в'язучого.

(2) Якщо фрезований матеріал занадто вологий, його слід висушити перед введенням в'язучого або нового матеріалу.

(3) У жарку та суху погоду цистерна з водою повинна бути завжди у розпорядженні будівельників для можливості зволоження поверхні перед виконанням робіт з влаштування шару догляду за нею.

Таблиця. 2.4

Машини та операції, які застосовуються при рециклюванні дорожніх одягів на дорогах з середньою та високою інтенсивністю руху

Найменування операції	Мета	Типові машини
1	2	3
Додавання нового матеріалу	– Покращення зернового складу суміші – виправлення поперечного профілю – Підвищення товщини шару, що рециркулюється	– Розподільники матеріалів – Асфальтоукладач – Автогрейдер
Зволоження (1)	Забезпечення оптимальної вологості відповідно до методів випробування (Proctor, AASHTO)	– Цистерна з розподільником води – Поливомийна машина, під'єднана до ресайклера – Розподільник емульсії
Розподіл в'язучого	Введення в'язучого у кількості, що відповідає площі ділянки та глибині рециклювання	– Розподільник цементу – Бетонозмішувач, під'єднаний до ресайклера
Розпушування дорожнього одягу	Розпушування існуючого дорожнього одягу	– Ресайклер
Перемішування	Забезпечення однорідності суміші розпушеного матеріалу з в'язким, водою та іншими добавками	– Ресайклер

Закінчення табл. 2.4

1	2	3
Нарізання поперечних швів	Запобігання утворенню відображених тріщин	– Ручне обладнання – Механізоване обладнання
Попереднє ущільнення	Досягнення 90 – 92% необхідної щільності	Віброкоток з гладкими вальцями
Обробка	– Видалення зайвого матеріалу та досягнення потрібного профілю – Підвищення рівності поверхні	– Автогрейдер
Остаточне ущільнення	Забезпечення необхідної щільності	– Гладковальцевий коток та коток на пневмошинах (3)
Догляд та захист шару	– Догляд за рецикльованою поверхнею – Захист шару догляду	– Розподіл емульсії (4) – Розподіл піску або щебеню + коток на пневмошинах

Примітка.

(1) Якщо матеріал, що фрезується, занадто вологий, він повинен бути просушений перед введенням в'язучого або іншого матеріалу.

(2) Якщо шари дорожнього одягу включають агрегати крупніше 80 мм, вони повинні бути роздроблені або видалені.

(3) Або два вібркотки.

(4) У теплу та суху погоду цистерна з водою повинна бути завжди у розпорядженні будівельників для можливості зволоження поверхні перед виконанням робіт з влаштування шару догляду за нею.

2.8.2. Опис машин**Вступ**

Кожна машина, що використовується у технології рециклювання, має певний вплив на якість отриманого шару. Найважливішими є такі машини:

– розподілювачі в'язучого/цементу – змішувачі для цементної суспензії;

– ресайклери;

– машини для влаштування «свіжих швів»;

– дорожні котки.

Нижче наведено короткий опис цих машин, з виділенням тих їх характеристик, які мають особливий вплив на виконання робіт з рециклювання.

Розподілювачі в'язучого

Розміщення мішків з цементом на ґратчастих піддонах через певний інтервал з наступним розподілом цементу вручну практикується у країнах, де

доступна дешева людська праця. При цьому, якщо покриття дороги заздалегідь ретельно розмічається [18], досягається досить висока точність дозування. Проте такий спосіб розподілу цементу повинен бути обмежений та застосовуватися лише при незначних обсягах робіт.

Широко поширеним способом є введення цементу за допомогою таких основних машин:

- бункерний розподільувач для порошкових матеріалів (рис. 2.8);
- машини, що перемішують цемент з водою з метою отримання цементної суспензії, яку потім перекачують до ресайклера (рис. 2.9).

Звичайні машини для розподілу в'язучого у вигляді порошку представляють собою вантажні автомобілі, обладнані бункером, або автомобілі-цистерни, з контролюючим вивантажувальним пристроєм. Розподіл може бути залежним або незалежним від швидкості руху автомобіля, а дозування – здійснюватися за масою або за об'ємом. Більш точним є дозування за масою. Розподілюючі пристрої можуть бути обладнані спеціальними фартухами для зниження пилоутворення.



Рис. 2.8. Бункерний розподільувач цементу

Основні характеристики описаних машин:

- об'єм ємкості для в'язучого від 8 до 30 м³;
- ширина розподілу від 2,2 до 2,9 м з можливістю її регулювання.

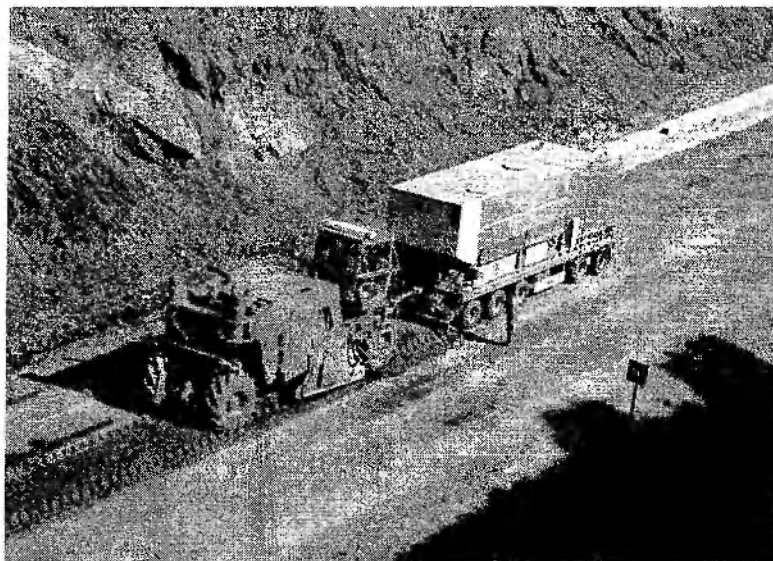


Рис. 2.9. Машина для приготування цементної суспензії та подачі до ресайклера

Деякі машини для рециклювання мають вбудований розподільник, який забезпечує подачу цементу у порошкоподібному стані безпосередньо до камери фрезування або перемішування.

Машини для приготування цементної суспензії складаються з ємкостей для цементу та води, високопродуктивної розчиномішалки й інших вузлів, таких як насос для води, ваговий дозатор цементу та насоси для подачі розчину до ресайклера. Ці машини мають можливість дозувати суспензію залежно від маси матеріалу, що рециклюється, швидкості руху комплекту, вмісту цементу, а також глибини та ширини рециклювання. Вони також обладнані додатковою системою подачі води до ресайклера через розподільну трубу для забезпечення необхідної вологості матеріалу, який рециклюється.

Використання машини для приготування суспензії має такі переваги:

- незалежність від погодних умов (дощ, вітер);
- точне вагове дозування цементу та води за допомогою мікропроцесора;
- більш ефективне перемішування з матеріалом, що рециклюється, порівняно з цементом у сипучому стані;
- безперервність процесу завдяки можливості використання накопичувальних бункерів для суспензії;
- виключення дії пилу на транспорт та навколишнє середовище;
- зниження простоїв цементовозів, оскільки ємкість приймального цементного бункера відповідає вантажопідйомності цементовоза.

У той же час, використання цементної суспензії може створити утруднення, якщо вихідна вологість матеріалу, що рециклюється, висока, оскільки у цьому випадку необхідно попередньо просушити розпушений матеріал. Крім того, швидкість руху машини повинна ретельно контролюватися, а при зупинках або зниженні швидкості слід уникати седиментації та

утворення грудок. Нарешті, застосування машин для приготування цементної суспензії може привести до підвищення вартості робіт на невеликих ділянках, оскільки ціна обладнання досить висока.

Ресайклери

За винятком роторних плугів та іншої техніки, яка зазвичай використовується у сільському господарстві, та яку слід застосовувати тільки на другорядних дорогах, ресайклери, як це буде показано далі, можуть бути різних типів. Як правило, всі вони можуть використовуватися незалежно від категорії дороги, навіть якщо дорожній одяг включає шари з асфальтобетону та інших укріплених матеріалів.

Загальні відомості

Спочатку машини для рециклювання на дорозі призначалися для укріплення ґрунтів (рис. 2.10). Головним робочим органом цих машин є роторний барабан фрези для розпушування та перемішування матеріалу (рис. 2.11), забезпечений спеціальними ріжучими зубами, кількість яких залежить від виробника машин. Барабан розміщується усередині кожуха, утворюючи змішувальну камеру. При обертанні барабана зуби фрези руйнують покриття та перемішують частинки, що утворилися, з цементом і водою. Фрезування, як правило, здійснюється у напрямі знизу вгору, тобто направляючи розпушений матеріал до передньої частини змішувальної камери. Вважається, що при фрезуванні у протилежному напрямку – зверху вниз, хоча й утворюються не такі крупні агрегати, проте сам процес уповільнюється.

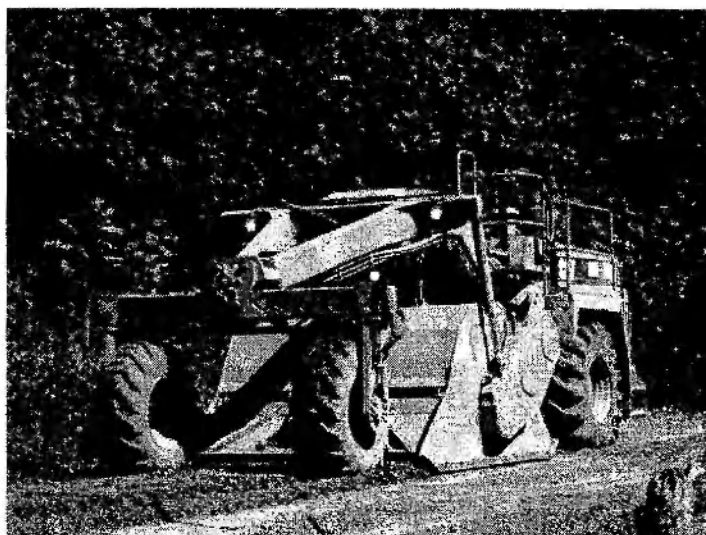


Рис. 2.10. Машина для рециклювання на дорозі, призначена для укріплення ґрунтів

У процесі фрезування у більшості моделей вода або цементна суспензія подається по гнучкому шлангу до змішувальної камери ресайклера. Подача води або цементної суспензії контролюється дозуючим пристроєм, розташованим біля входу до змішувальної камери. Потім оброблений матеріал вивантажується з ресайклера через випускне вікно.

Основною відмінністю ресайклера від ґрунтозмішувача є наявність фрезерного барабана. Ресайклери, призначені для рециркулювання дорожніх одягів, забезпечуються відносно великою кількістю ріжучих зубів (рис. 2.11). Зуби розташовуються на поверхні барабану по спіралі з метою забезпечення кращої однорідності процесів фрезування та перемішування. На відміну від фрезерного барабана ресайклера, барабан ґрунтозмішувача, як правило, має прямі або *L*-подібні лопаті, їх кількість у 2 – 3 рази менше, ніж у ресайклері. Проте деякі виробники випускають машини, придатні для обох видів робіт з використанням одного й того ж барабана та зубів.

Є широкий спектр машин з потужністю двигуна від 300 к.с. до 1200 к.с. Ширина смуги, що рециркулюється, коливається від 2,0 до 4,5 м. Глибина рециркулювання не перевищує 40 см. Машини мають такі додаткові пристрої:

- подрібнювальний брус для відфреззованого матеріалу, вмонтований у кожух робочої камери фрезерного барабана. Його відстань від барабана встановлюється залежно від необхідного розміру зерен матеріалу, що руйнується;

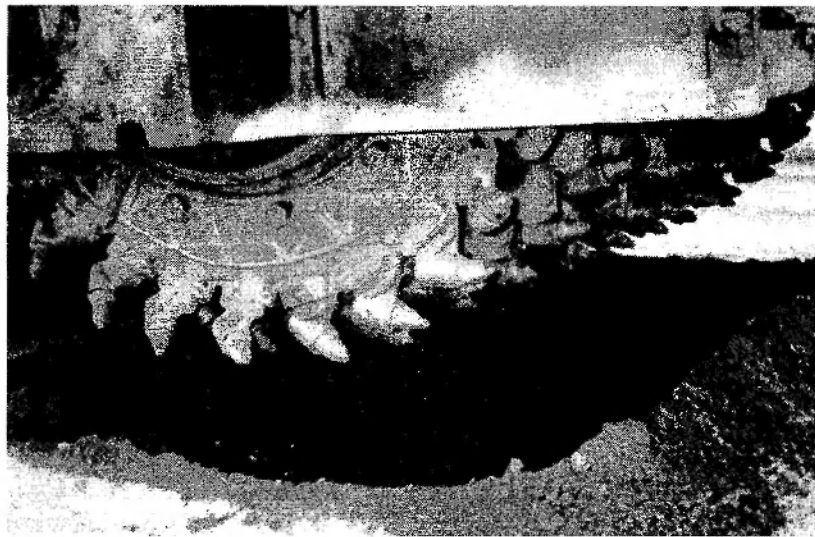


Рис. 2.11. Фрезерний барабан ресайклера

- регульований по висоті кожух, який може підійматися або опускатися над фрезерним барабаном і тим самим збільшувати або зменшувати об'єм «камери перемішування» залежно від глибини фрезування;
- електронну систему контролю глибини фрезування;
- пристрій для можливості зміни кута нахилу фрезерного барабана залежно від необхідного поперечного похилу;

– мікропроцесор для контролю потужності двигуна з регулюванням швидкості руху, що відповідає оптимальній продуктивності.

Машини-планувальники

Ресайклери, виготовлені на основі дорожніх профілювальників (рис. 2.12), разом з фрезуванням шарів дорожнього одягу також перемішують розпушені частинки з водою та цементом. Фрезерний барабан розміщений всередині змішувальної камери посередині машини. Контролюючий розмір зерен брус розташований у передній частині змішувальної камери, він запобігає попаданню крупних грудок до профілювальника. Це особливо важливо у тих випадках, коли бітумне в'язуче постаріло, а дорожній одяг має значну кількість тріщин. Змішувальна камера забезпечена розподільними трубами, які забезпечують введення двох різних зв'язуючих матеріалів, наприклад, одночасно цементної суспензії та бітумної емульсії. Перемішаний матеріал вивантажується із змішувальної камери у формі валу. Ззаду машини розташований регульований по висоті розподільний орган, який розподіляє матеріал телескопічною віброплитою, призначеною також для попереднього ущільнення суміші. Для рециркулювання дорожніх одягів з додаванням цементу застосовують машини потужністю близько 600 к.с., які забезпечують ширину фрезування 2 м та максимальну глибину 40 см.

Ці машини забезпечені різними контролюючими пристроями, що включають:

- електронний прилад контролю глибини фрезування ;
- мікропроцесор для контролю дозування води або цементної суспензії;
- пристрій, який контролює швидкість руху машини залежно від опору фрезуванню матеріалу у шарі основи та покриття (яке зростає зі збільшенням глибини фрезування);
- пристрій для бічного нахилу фрезерного барабана та віброплити для попереднього ущільнення рециркульованого матеріалу.



Рис. 2.12. Ресайклер на базі дорожнього планувальника

Машини з роздільними органами для фрезування та перемішування

Машини, описані вище, мають один барабан, який виконує як операції фрезування, так і перемішування. Разом з тим, у Франції була розроблена спеціальна машина для рециркулювання (рис. 2.13), що виконує роздільно операції фрезування шарів дорожнього одягу та перемішування матеріалів з водою або в'язучим. Фрезування здійснюється за допомогою барабана, обладнаного вольфрамо-карбідними зубами, тоді як подовжньо розташований вал з лопатками виконує перемішування від фрезованого матеріалу з цементом та водою. Отримана суміш потім розподіляється шнеком, розташованим у задній частині машини. Ширина смуги, що рециркулюється, складає 2 м, потужність двигуна 750 к.с., а максимальна робоча глибина рециркулювання – 33 см.



Рис. 2.13. Ресайклер з роздільними барабанами для фрезування та перемішування

Фрези – дробарки

Існують також машини, обладнані пристроєм, що дробить, на додаток до фрезерного барабану. Цей пристрій дозволяє знизити розмір зерен відфрезованого матеріалу до 50 мм та менше перед його подальшим перемішуванням у двохвальному змішувачі.

Інші різновиди машин

Розроблені також інші типи машин, які застосовуються при значних обсягах робіт з рециркулювання. Вони забезпечені органом (рис. 2.14), що здійснює процес перемішування матеріалів, які утворилися після фрезування

дорожнього одягу іншим обладнанням (наприклад, описаним вище ресайклером). Ці машини можуть працювати на смузі завширшки від 3 до 4,75 м (з можливістю розширення до 5,75 м), мають цистерну для води (або бак для емульсії у разі комбінованого застосування в'язучих), бункер для цементу та додатковий бункер для мінеральних матеріалів, необхідних для корегування зернового складу висхідних матеріалів покриття. Перемішування у цих машинах здійснюється двома поздовжньо розташованими роторами, що обертаються у протилежних напрямках. Отриманий матеріал розподіляється за допомогою шнека та ущільнюється до досить високої щільності за допомогою вібротрамбуючої плити.



Рис. 2.14. Ресайклер задалегідь відфреззованого матеріалу

У цих машин зуби фрезерного барабана схильні до найбільшого зносу. Тому, як правило, більшість з них замінюють протягом робочого дня. Для зручності заміни зубів вони фіксуються у гніздах за допомогою спеціальних пристроїв, які дозволяють легко їх витягувати.

Машини для влаштування швів

Попереднє влаштування поперечних швів у свіжо укладених шарах з матеріалів, рецикльованих з додаванням цементу, з інтервалом через 1,5 – 3,5 м є найефективнішою мірою з мінімізації прояву тріщин в асфальтобетонному покритті. Цей метод застосовується для напівжорстких дорожніх одягів на дорогах з середньою та високою інтенсивністю руху.

Існує декілька методів влаштування таких швів (рис. 2.15), залежно від глибини шва, який нарізається у свіжоукладеному шарі:

– при глибині шва до 1/3 товщини шару, як правило, застосовуються пристрої, що пересуваються на колесах, обладнані, наприклад:

- віброплитою з ножом трикутної форми під нею;
- вібророликом з привареним до нього ножом кільцевої форми;
- вібророликом з встановленим збоку ріжучим диском.

Ці пристрої, як правило, управляються вручну, хоча у деяких випадках віброплита встановлюється на стрілі екскаватора.

– при глибині шва на всю або більшу частину товщини шару, вони влаштовуються за допомогою спеціальних механізованих машин. У процесі нарізування шва, з метою запобігання змиканню його стінок, вони заповнюються:

- бітумною емульсією;
- еластичними пластиковими прокладками;
- хвилястим пластиковим профілем (активний шов).

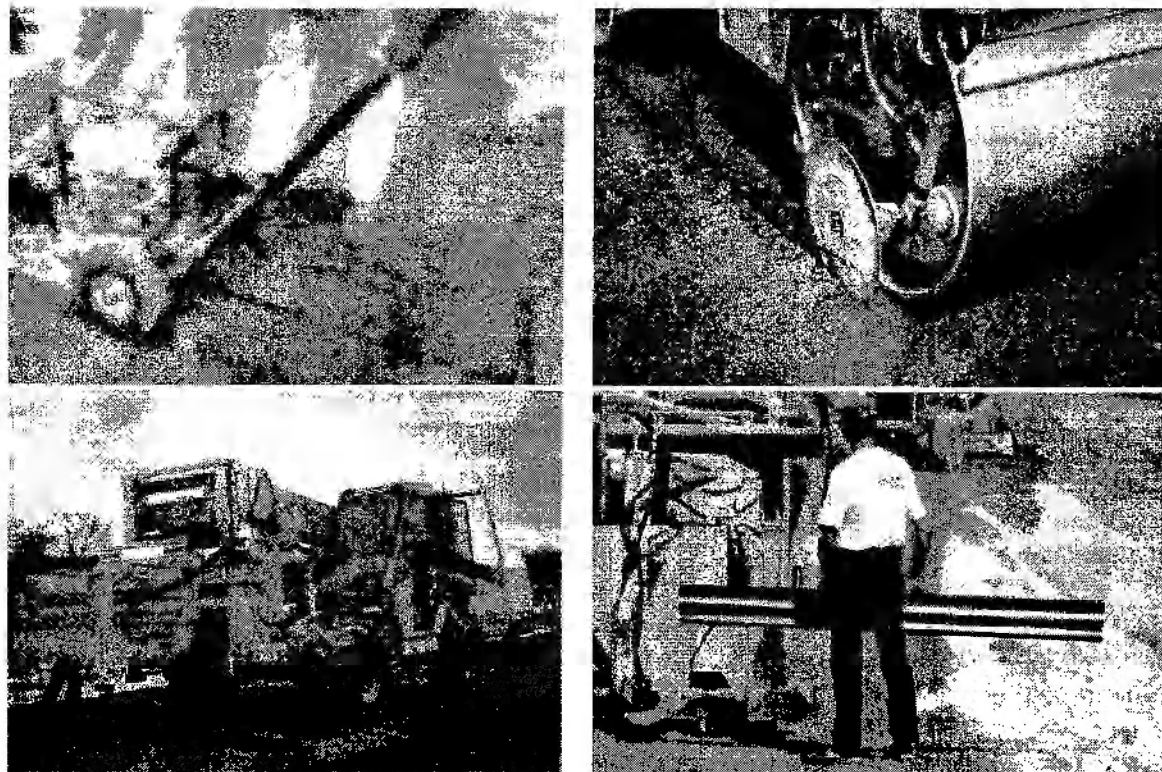


Рис. 2.15. Влаштування швів у свіжоукладеному шарі

Котки

Оскільки при рециклюванні (як і у випадку застосування укріплених цементом шарів) вимагається забезпечення високої щільності, особливо у нижній зоні шару із рецикльованого матеріалу, то для цього необхідно мати на ділянці виробництва робіт машини, які забезпечують хороше ущільнення. Якщо матеріал ущільнений недостатньо, то не буде досягнута необхідна міцність шару та у результаті наступить передчасне утомне руйнування

дорожнього одягу. Ущільнення шарів із рецикльованих матеріалів може здійснюватися віброкотками, котками на пневмошинах або комбінованими котками.

Гладковальцьові віброкотки використовуються найчастіше, що пояснюється їх багатосторонніми можливостями та ефективністю ущільнюючої дії. Вони можуть бути причіпними та самохідними. Котки різноманітні за типом та конструкцією, хоча найбільше поширені:

- гладковальцьові металеві котки з одним або двома вібровальцями;
- шарнірно з'єднані котки з веденою віссю на пневмошинах та шарнірним з'єднанням з гладким вібровальцем.

Головним параметром ефективності ущільнення є статичне лінійне навантаження на сантиметр вібровальця, яке може бути вибране залежно від товщини шару, що рециклюється. За цим параметром котки розділяються на типи, наведені у табл. 2.5

Таблиця 2.5

Класифікація гладковальцьових віброкотків

Тип віброкотка	Статична маса на сантиметр вібровальця, Н	Оптимальна товщина шару, см
Легкий	100 – 200	10 – 15
Середній	200 – 400	15 – 25
Важкий	> 400	25 – 40

Чим менше у матеріалі, що ущільнюється, дрібнодисперсних частинок, тим більш ефективною є вібрація, і товщина шару, який рециклюється, може бути збільшена до верхньої межі, вказаної у табл. 2.5.

З урахуванням складності процесу ущільнення рецикльованих матеріалів, котки із статичною масою менше 400 Н на сантиметр вібровальця не слід застосовувати.

Використання важких гладковальцьових віброкотків часто призводить до того, що верхня частина шару залишається недостатньо ущільненою. Це проявляється у появі тонких горизонтальних тріщин. Найефективнішим способом усунення цього явища є використання причіпних або самохідних котків на пневмошинах. Причіпні котки, як правило, важкі (30 – 100 т), мають один або два ряди коліс та ними важко керувати. Самохідні котки, навпаки, набагато легші в керуванні та застосовуються при різних дорожніх роботах. Їх статична маса, як правило, складає 10 – 40 т, а їх колеса (у кількості від 7 до 9 шт.) розташовані таким чином, що перекривають всю ширину смуги ущільнення.

Найважливішим чинником для глибинного ущільнення є вага, що передається на одне колесо. За цим параметром котки на пневмошинах діляться на три типи:

- легкі (менше 4 т/колесо);
- середні (3 – 6 т/колесо);
- важкі (більше 6 т/колесо).

Ущільнююча дія коліс поєднує вертикальний тиск з легким розминанням матеріалу, внаслідок чого дрібні частинки можуть заповнити пори між крупними.

Іншим важливим чинником є тиск у шинах, який може змінюватися за допомогою компресора.

Під час робіт з рециркулювання котки на пневмошинах повинні забезпечувати зусилля на колесо не менше 3 т, а тиск у шинах повинен бути не менше 0,7 МПа.

Рекомендується на пробній ділянці влаштовувати режим ущільнення, тобто тип котків та мінімальна кількість проходів по одному сліду. На пробній ділянці встановлюють вплив вмісту води на властивості матеріалу у покритті, доцільність використання підходящих уповільнювачів твердіння, спосіб влаштування швів у покритті і т.ін.

2.9. ВИКОНАННЯ РОБІТ

2.9.1. Процес рециркулювання

В узагальненому вигляді процес рециркулювання включає такі операції:

- підготовка поверхні (очищення з видаленням усіх потенційно шкідливих матеріалів, таких як глина або органічні речовини);
- при необхідності, корегування зернового складу шляхом дроблення, відсівання або додавання нових матеріалів;
- розподіл цементу;
- фрезування дорожнього одягу на необхідну глибину із введенням води та перемішуванням складових суміші;
- влаштування швів;
- попереднє ущільнення шару;
- обробка поверхні;
- остаточне ущільнення;
- укладання шару догляду та захисного шару;
- укладання асфальтобетонного покриття.

Залежно від обладнання, що використовується, деякі з вказаних операцій можуть виконуватися одночасно або окремо, а порядок операцій може відрізнятися від наведеного вище.

Якщо при рециркулюванні необхідно виконати розширення дороги, то слід відкрити траншею заданої глибини з однієї або двох сторін покриття. Влаштування траншей здійснюється вздовж кромки існуючої дороги, вони виконуються вертикально і, якщо це можливо, повинні досягати незабруднених шарів. Дно траншеї повинно бути ретельно спрофільовано, ущільнено, після

чого траншея заповнюється зернистим матеріалом (рис. 2.16). Характеристики зернистого матеріалу повинні забезпечити отримання якомога більш однорідного шару у поперечному перерізі, без зміни вмісту цементу у різних смугах зміцнення, включаючи смугу розширення. Якщо економічно неефективно використання зернистих матеріалів, то може бути використаний варіант розширення із застосуванням цементогрунтової суміші, виготовленої на заводі.

Якщо необхідна попередня обробка матеріалів вапном (для зменшення вологості або пластичності зв'язних матеріалів), то укріплена вапном суміш повинна бути ущільнена та спрофільована як мінімум за день до введення цементу.



Рис. 2.16. Розширення існуючого покриття із застосуванням щебеневої суміші

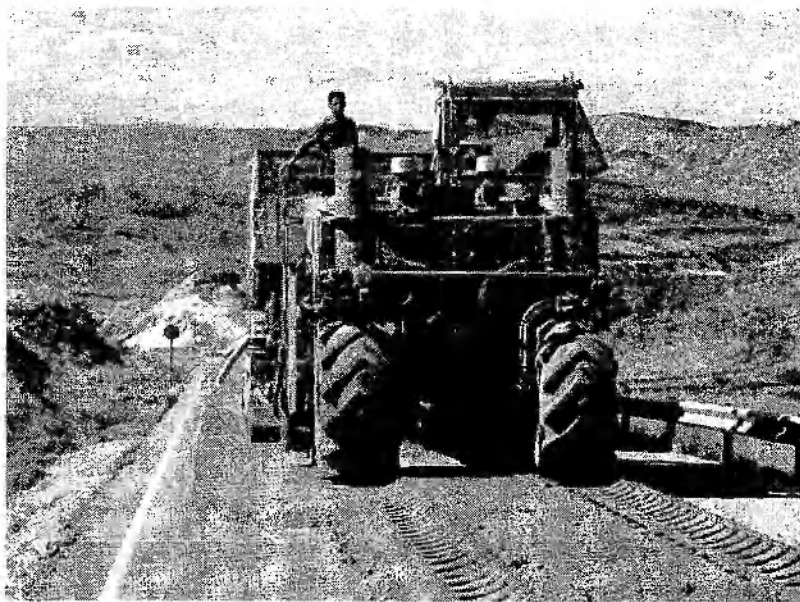


Рис. 2.17. Рециклювання покриття за декілька проходів ресайклера

2.9.2. Виконання робіт

Вступ

Рециклювання дорожніх одягів вимагає детального планування та організації робіт:

– залежно від наявного обладнання, в'язучого, що використовується, та погодних умов, повинна бути визначена кількість проходів ресайклера по ширині проїжджої частини (рис. 2.17), а також довжина ділянки (до реверсування або розвороту) і місця переходу на суміжну смугу. Як правило, ця довжина не перевищує 500 м, щоб уникнути утворення «холодних» стиків між сусідніми смугами. Іноді, якщо необхідно підвищити продуктивність робіт, використовують тандем з двох ресайклерів (рис. 2.18);

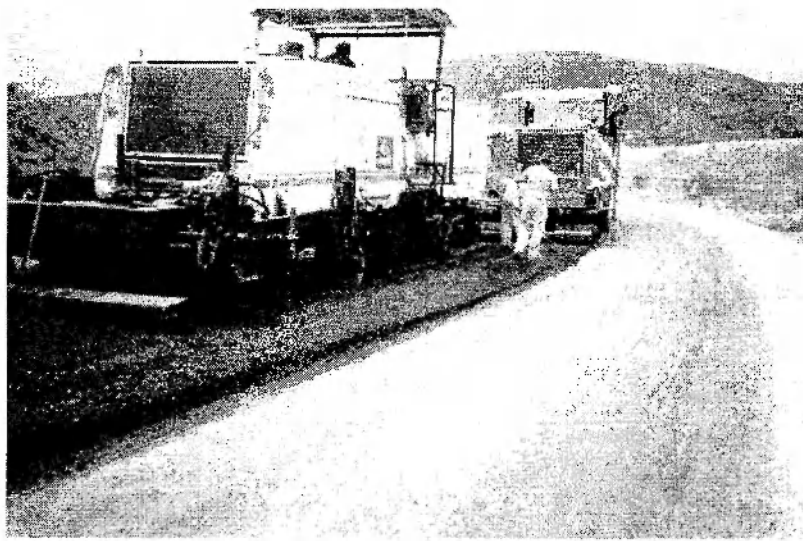


Рис. 2.18. Рециклювання покриття двома ресайклерами

– повинні бути враховані всі допоміжні операції, які можуть призупинити процес рециклювання (завантаження цементу до ресайклера, заміна зубів фрези і т.ін.);

– важливим чинником, що має значний вплив на організацію робіт, є управління рухом. Якщо є об'їзні шляхи, то дорога може бути повністю закрита для руху. Проте найчастіше рециклювання ведеться на половині дороги, а рух по іншій половині регулюється, щоб не виникало заторів.

Як і при використанні інших матеріалів, укріплених цементом, повинні виконуватися такі запобіжні заходи:

– у жарку погоду термін зручнооброблюваності суміші значно скорочується. У цьому випадку може бути рекомендовано використання уповільнювачів твердіння для забезпечення необхідної зручнооброблюваності матеріалу;

- слід уникати рециклювання при дуже низьких температурах (наприклад, у разі очікуваного значного зниження температури або при температурі нижче 5° С робота повинна бути припинена);
- робота повинна припинятися у разі сильного дощу (зливи);
- поверхня шару повинна бути ретельно захищена шаром догляду.

Застосування в'язучих матеріалів

Залежно від використаного способу рециклювання, цемент вводиться до або одночасно з фрезуванням дорожнього одягу. В останньому випадку цемент додається у вигляді суспензії.

Якщо цемент у порошкоподібному стані розподіляється машиною, а ступінь дозування визначається швидкістю руху машини, то повинно використовуватися дозування цементу за вагою. Цемент повинен бути розподілений якомога більш рівномірно по поверхні покриття, що рециклюється. Щоб зменшити втрати цементу у вітряну погоду та забезпечити комфортні умови праці для робітників, необхідно синхронізувати роботу обладнання, що розподіляє цемент, і змішувального обладнання так, щоб перед ресайклером ділянка дороги з розподіленим цементом була якомога коротшою.

Описані вище проблеми можуть бути успішно вирішені при використанні спеціальних машин для приготування та подачі до ресайклера цементної суспензії. Зараз випускаються високопродуктивні машини, здатні забезпечити швидкість подачі цементної суспензії до 1000 л/хв, які ефективно використовувати на ділянках значної протяжності або там, де застосовується велика кількість цементу.

Такі машини також збільшують ефективний час рециклювання, оскільки зупинки для завантаження цементу будуть менш частими. Розвантаження цементовоза місткістю 20 т може займати півгодини, а такої кількості цементу вистачає на три години роботи ресайклера.

Під час робіт зі стабілізації ґрунту ця проблема може бути вирішена за допомогою пересувного цементного бункера або цементовоза, що забезпечує можливість руху автомобіля при розвантаженні цементу, проте при рециклюванні їх складно застосувати, так як одна смуга, як правило, залишається відкритою для руху транспорту.

Фрезування та перемішування

Щоб забезпечити постійну глибину рециклювання та однорідність матеріалу, що рециклюється, повинен використовуватися ресайклер достатньої потужності. Крім того, машина повинна забезпечувати можливість регулювання швидкості її пересування, яка повинна бути досить повільною для досягнення однорідності суміші та не викликати зниження продуктивності машини.

Як правило, рециклювання виконується по смугах, які повинні перекриватися на 20 см, щоб не допустити утворення неперемішаних матеріалів по краях смуг. У той же час слід уникати передозування цементу у зоні покриття смуг.

Вологість суміші, що рециклюється, є одним із перемінних параметрів, що вимагають найбільшої уваги та контролю при рециклюванні. Вода, якщо це необхідно, може додаватися до присутньої у матеріалі води так, щоб забезпечити оптимальну вологість відповідно до випробування за модифікованим методом Проктора або AASHTO. Якщо природна вологість вища за оптимальне значення, то матеріал слід просушити перед введенням цементу.

Найчастіше застосовується технологія з використанням ресайклера для фрезування існуючого дорожнього одягу та перемішування отриманого матеріалу з цементом і водою. Як уже наголошувалося, є інші машини, які представляють собою пересувні змішувальні установки, що вимагають попереднього розпушування дорожнього одягу та працюють на смузі шириною до 5,75 м. У цьому випадку знижується можливість утворення поздовжніх «холодних» швів. Можна добитися подібного ефекту взяттям розпушеного та перемішаного матеріалу з ресайклера і подачею його по конвеєру або ковшовому елеватору до асфальтоукладача, який остаточно розподілить суміш.



Рис. 2.19. Заміна зубів фрези

У процесі фрезування зуби фрези швидко зношуються, тому, як правило, необхідно більшість з них замінювати протягом робочого дня (рис. 2.19). Абсолютно очевидно, що ступінь зносу залежить від матеріалу, який фрезується [11]:

- при рециклюванні дорожніх одягів, що містять вапняк або кремне-кальцієві матеріали (із вмістом кальциту більше 60%), як правило, потрібно замінювати всі зуби фрези щоденно;
- при рециклюванні більш абразивних матеріалів, які містять кварц, може виникати необхідність заміни зубів два рази на день (тобто, опівдні та ввечері), а у деяких випадках – кожні дві години;
- при рециклюванні виключно високоабразивних матеріалів, як правило, всі зуби замінюються одночасно. Якщо фреза має 150 – 200 зубів, це означає, що щодня повинні замінюватися 300, 400 або навіть 500 зубів.

Влаштування швів

Покриття, які рецикуються з додаванням цементу, поведуться подібно до звичайних напівжорстких покриттів і в них виникають поперечні тріщини під сумісною дією усадки, транспортних навантажень та перепаду температури.

Вміст цементу у рецикльованому шарі, як правило, приймається таким, щоб забезпечити такі ж значення модулів пружності, як для цементогрунтів або шарів основи, укріплених цементом. Матеріали цього типу характеризуються на ранніх стадіях твердіння утворенням тонких усадкових тріщин на невеликій відстані одна від одної.

Проте вихідна неоднорідність існуючого дорожнього одягу може помітно збільшити розкид показників міцності шару, який влаштовується способом рециклювання з додаванням цементу. Це, разом зі значною товщиною рецикльованих шарів та відносно невеликою товщиною асфальто-бетонного покриття зверху вниз, може привести до виникнення усадкових тріщин на відносно великих відстанях (більш ніж через 6 м), які згодом можуть проявитися у покритті. Такі тріщини не мають особливого значення на другорядних дорогах, проте можуть створити проблеми на дорогах з інтенсивним рухом. До зазначених проблем відносяться, наприклад, прискорення утомних процесів у шарах дорожнього одягу у зв'язку з відсутністю суцільності у зоні тріщин, виникнення руйнувань у зоні тріщин у результаті безперервного динамічного впливу транспортних засобів, проникнення води у ґрунтову основу через тріщини. Тому, за винятком доріг з невеликою інтенсивністю руху, необхідно вживати заходів з запобігання прояву цих тріщин у верхніх шарах покриття, як і на усіх інших напівжорстких покриттях, які підлягають дії інтенсивного руху.

Накопичений протягом багатьох років досвід свідчить, що найефективнішим способом попередження утворення відображених тріщин є зменшення відстані між ними. Сучасний напрямок попередження виникнення відображених тріщин полягає у попередньому влаштуванні швів у шарі, що влаштовується, через короткі відстані (2,5 – 3,5 м) до ущільнення матеріалу (рис. 2.20).

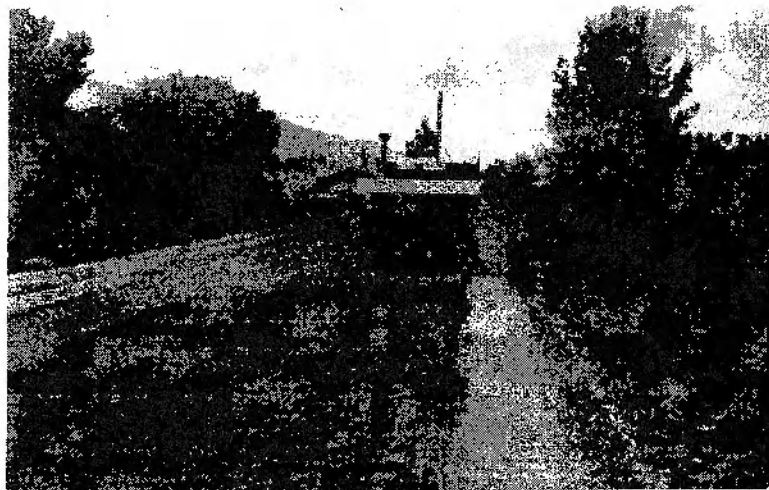


Рис. 2.20. Шви, нарізані у свіжоукладеному шарі перед його ущільненням

Сьогодні відомо декілька методів створення швів у свіжоукладеному матеріалі, але все-таки більшість швів нарізується у затверділому матеріалі. Останній спосіб має декілька недоліків. Перший з них – фінансовий, оскільки влаштування швів у свіжоукладеному матеріалі дешевше. Крім того, у зв'язку з невисокою початковою міцністю шару з рецикльованих матеріалів, необхідний досить довгий період очікування для набуття матеріалом потрібної міцності, яка дозволяє нарізати шви без руйнування його стінок. Крім того, за цей час, як правило, можуть з'явитися довільні тріщини.

Попередження тріщиноутворення за допомогою улаштування швів у свіжоукладеному матеріалі через кожні 2,5 – 3,5 м дешевше, легше здійснено та більш ефективно, ніж нарізування швів у затверділому покритті. Тому технологія улаштування швів у свіжоукладеному шарі є завжди переважною. Улаштування швів повинно бути обов'язковим на дорогах з середньою та високою інтенсивністю руху, хоча мінімальна інтенсивність, при якій улаштування швів стає необхідним, ще не встановлена.

Такі шви улаштовують відразу після укладання рецикльованого матеріалу, профілювання або декількох проходів котків, але до забезпечення високої щільності шару.

Як правило, влаштування швів на глибину від $1/3$ до $1/4$ товщини матеріалу, який ущільнюється, дають добрі результати в укріплених цементом та бетонних основах, що укріплюються, а також у рецикльованих з додаванням цементу покриттях. Проте висловлюються сумніви відносно того, чи залишаться шви відкритими після декількох проходів котка, або, якщо вони навіть не зімкнуться, чи буде викликане швами послаблення перетину достатнім для формування швів.

З метою рішення цих проблем розроблено спеціальне обладнання для влаштування швів на всю товщину рецикльованого шару (або більшу його частину) із заповненням утвореної щілини, так, щоб не допустити з'єднання стінок шва при наступному ущільненні. Цього може бути досягнуто шляхом використання емульсії, а також введенням до шва пружної пластичної стрічки або хвилястої жорсткопластичної прокладки. Крім того, ці машини дозволяють здійснювати влаштування швів у випадку, коли ресайклер попередньо ущільнює матеріал та ручне влаштування швів за допомогою вібропластини стає важкоздійсненним.

Така машина влаштовує шов майже на всю товщину шару та одночасно подає емульсію всередину шва (рис. 2.21), потім матеріал у шарі ущільнюється і на ущільненій поверхні шов абсолютно не помітний.

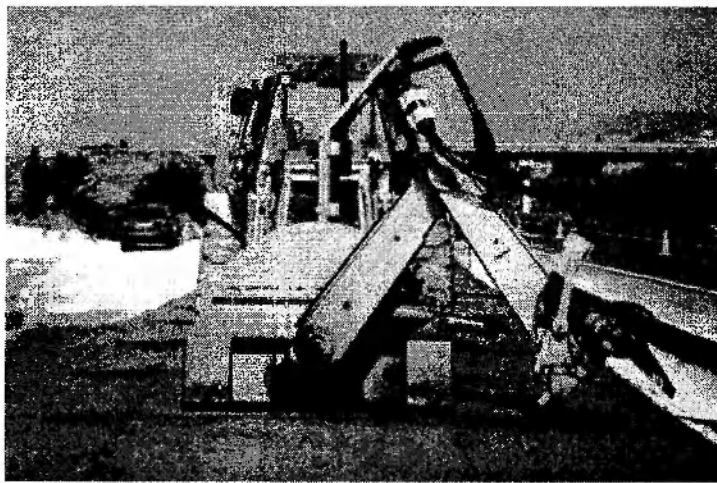


Рис. 2.21. Машина для влаштування шва практично на всю товщину шару, з його заповненням бітумною емульсією

Використання катіонних бітумних емульсій, які швидко розпадаються, має подвійний ефект. З одного боку, вода, що є в емульсії, уповільнює процес твердіння, збільшує водоцементне співвідношення та послабляє міцність матеріалу у зоні розташування шва, тим самим, сприяючи утворенню тріщини. З другого боку, бітум у шві забезпечує несучість шару, що також сприяє утворенню тріщини. Бітум також виконує захисну функцію, знижуючи чутливість до води матеріалу у зоні шва, та, відповідно, рівень його корозійного руйнування.

Поперечні технологічні стики

Технологічні стики утворюються у тих випадках, коли процес рециклювання переривається на час, більший терміну зручнооброблюваності матеріалу. Як правило, вони утворюються у кінці кожної ділянки, яка

утворилася у результаті закінчення робочої зміни. У таких випадках зручно відновити рециркулювання вже укріпленого матеріалу, встановивши ресайклер на відстані не менше 0,5 м, а краще рівній діаметру фрези (1,5 м) від розташованого попереду кінця ділянки.

Як технологічні стики, так і поздовжні перекриття суміжних смуг є чутливими ділянками, які вимагають ретельного контролю для запобігання передозуванню цементу.

Ущільнення

Як правило, загін ущільнюючих машин повинен включати, щонайменше, віброток та коток на пневматичних шинах (рис. 2.22), або комбінований коток. На деяких об'єктах якісне ущільнення отримано при використанні двох вібротків.

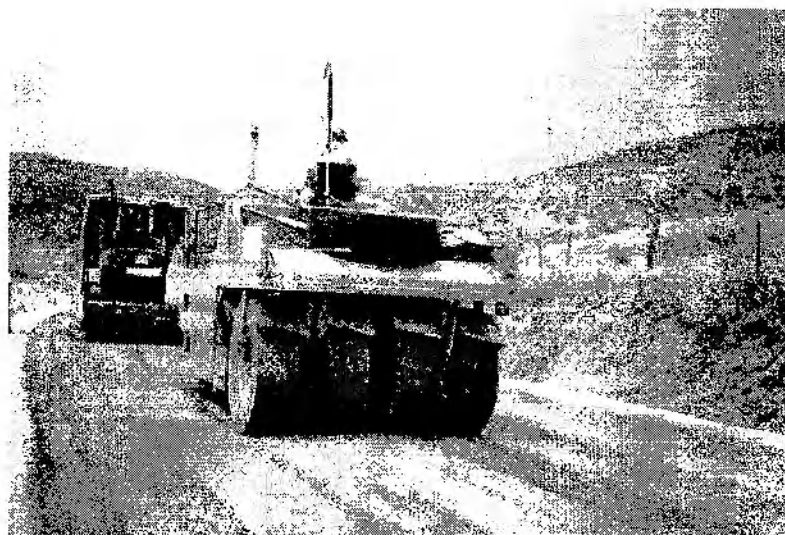


Рис. 2.22. Коток на пневмошинах та віброток

Ущільнення шару з рециркульованого матеріалу повинно виконуватися якомога швидше після його профілювання (рис. 2.23) з таких причин:

- щоб з матеріалу не випарувалася вода. Для попередження цього явища можна виконувати зволоження поверхні вручну за допомогою найпростіших розпилювачів;

- термін зручнооброблюваності рециркульованої суміші відносно короткий (за сприятливих умов він складає 2–3 години, залежно від властивостей вживаного цементу та температури навколишнього середовища), якщо не використовуються спеціальні дорожні в'язучі або уповільнювачі твердіння. Важливо, щоб матеріал, що рециркулюється, укладений по одній смузі, не почав тужавіти раніше, ніж буде укладена та ущільнена суміжна смуга.

Правильно призначені режими ущільнення мають першочергове значення для досягнення необхідної міцності та довговічності покриття влаштованого з матеріалу, рецикльованого з додаванням цементу. Бажано добиватися 100 %-ої максимальної щільності, оціненої за модифікованим методом Проктора або AASHTO, при середньому значенні щільності 97 % після укладання суміші ресайклером. Це вимагає застосування потужного обладнання, особливо якщо ущільнюються товсті шари, що зустрічається найчастіше при рециклюванні.

Профілювання та остаточне ущільнення

У старих дорожніх одягах асфальтобетонні шари характеризуються низьким вмістом пор. Рециклювання таких шарів викликає збільшення їх в об'ємі, що приводить до підвищення відміток ущільненого шару. Додавання в'язучого, в середньому від 3 до 5%, також впливає на цей процес.

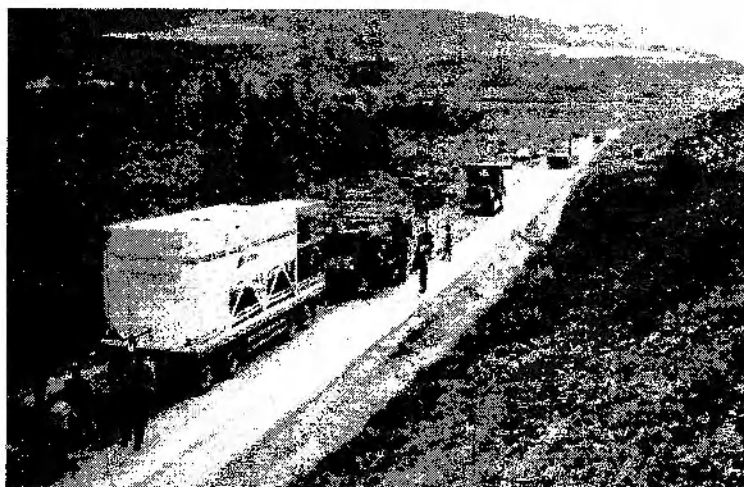


Рис. 2.23. Ущільнення повинно починатися якомога швидше після рециклювання

Крім того, важливо добитися необхідної рівності поверхні шару з рецикльованого з додаванням цементу матеріалу так, як це робиться для укріплених цементом основ. Нерівності шару, що влаштовується, повинні компенсуватися збільшенням об'єму асфальтобетонної суміші, яка використовується для влаштування верхнього захисного асфальтобетонного шару покриття, який є більш дорогим. При підвищенні нерівності рецикльованого шару середня товщина асфальтобетонного шару повинна бути збільшена, щоб забезпечити розрахункову товщину. З іншого боку, іноді єдиним способом захисту рецикльованого шару є влаштування поверхневої обробки.

Для забезпечення необхідної рівності доцільно профілювати рецикльований шар автогрейдером (рис. 2.24) з подальшим ущільненням його до однакової щільності у межах 90 – 92 % від необхідного значення по всій ширині смуги.

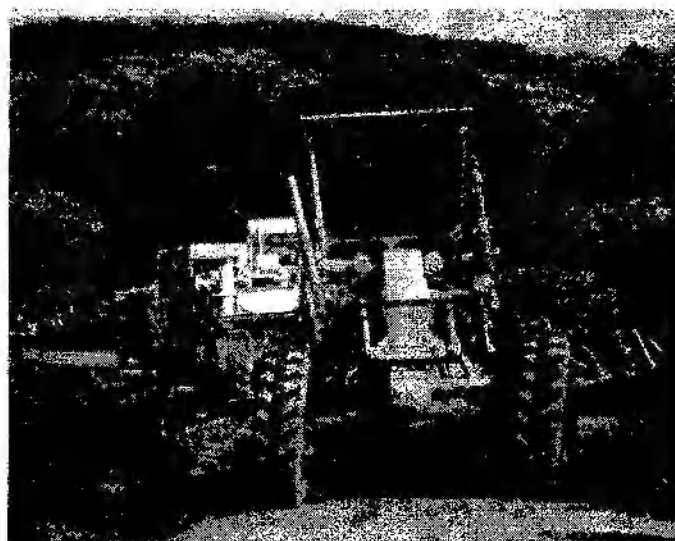


Рис. 2.24. Профілювання поверхні шару автогрейдером

При профілюванні необхідно стежити за тим, щоб вся поверхня шару стала рівною, а також, щоб не спостерігалися локальні зони неущільненого матеріалу. Більш того, знятий при профілюванні матеріал повинен видалятися з поверхні, оскільки він може бути недостатньо зв'язаним з нижче розташованим шаром, та буде відшаровуватися під впливом зсувної дії транспорту. Зайвий матеріал може бути використаний для виправлення профілю укріплених узбіч.

Профілювання повинно здійснюватися якомога швидше після початкового ущільнення. Це може бути складно навіть через відносно невеликий період часу, оскільки цемент швидко тужавіє. Після закінчення профілювання виконується ущільнення шару до досягнення необхідної щільності. На цьому етапі котки працюють на ділянці, рівність якої виправлена автогрейдером.

Рівність спрофільованої та ущільненої поверхні, як правило, вище, ніж без профілювання. Час, який витрачається на ці операції, повинний призначатися з урахуванням терміну зручнооброблюваності матеріалу, рецикльованого з додаванням цементу. Крім того, товщина шару із рецикльованого з додаванням цементу матеріалу повинна призначатися на 1 – 2 см більше, з урахуванням її зниження після профілювання.

Догляд та захист шару з рецикльованого матеріалу

Зразу ж після закінчення ущільнення необхідно виконати догляд за поверхнею шару з метою захисту матеріалу від втрати вологи, впливу погодних факторів та транспорту.

Як правило, для цього застосовують катіонні бітумні емульсії (рис. 2.25) з мінімальним вмістом бітуму, при їх витраті 600 г/м^2 . Якщо передбачається відкрити рух по рецикльованому шару зразу після закінчення робіт, то він повинен бути захищеним (рис. 2.26), з метою попередження його лущення або інших видів руйнування. Захисний шар влаштовують шляхом укріплення чистим та сухим дрібним щебенем (розміром від 3 до 6 мм) з витратою $4 - 6 \text{ л/м}^2$. Якщо очікується інтенсивний рух, то рекомендується влаштовувати одиночну або подвійну поверхневу обробку.

Відкриття руху по шару з рецикльованого матеріалу повинно бути закритим до тих пір, поки не відбудеться розпад емульсії, та необхідно ужити заходів із забезпечення помірної швидкості руху транспорту, щоб не допустити пошкодження покриття.

Асфальтобетонне покриття (рис. 2.27 та 2.28) може бути влаштоване відразу після нанесення шару догляду, але рекомендується відкласти цю операцію хоча б на сім днів для забезпечення умов формування швів.



Рис. 2.25. Розподіл бітумної емульсії для догляду за покриттям

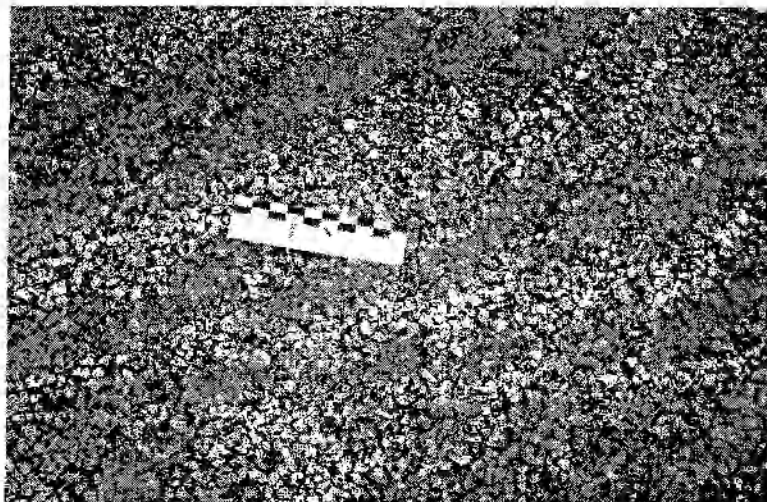


Рис.2.26. Захисний шар із дрібного щебеню, який попереджає луцення

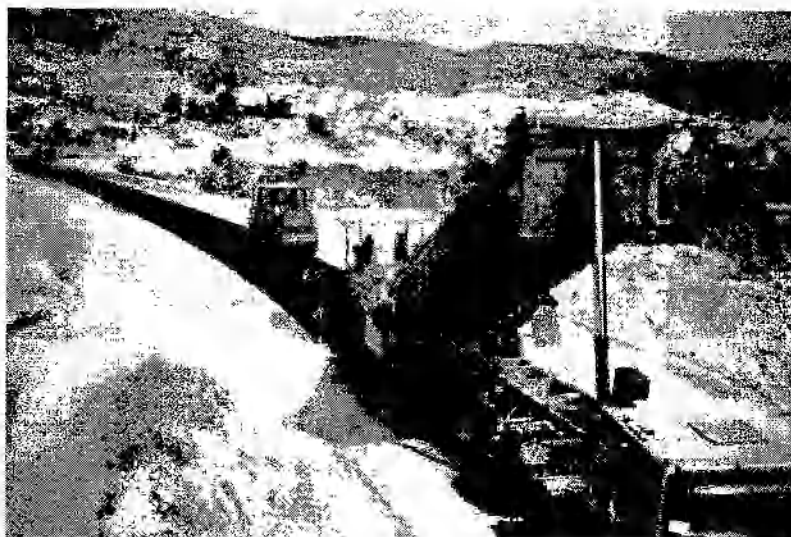


Рис.2.27. Влаштування асфальтобетонного покриття



Рис.2.28. Покриття після рециклювання

2.10. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

2.10.1. Вступ

Контроль якості є обов'язковою складовою процесу рециклювання з досягненням задовільних результатів. Такий контроль здійснюється у два етапи [32]:

- контроль процесу виробництва робіт;
- контроль того, наскільки кінцевий результат задовольняє всі вимоги.

Перед початком робіт необхідно перевірити, щоб машини забезпечували необхідну глибину рециклювання, ефективність перемішування та знаходилися у справному стані.

При виконанні робіт необхідно побудувати пробну ділянку з метою встановлення технологічних режимів роботи ресайклера, особливо його робочої швидкості, а також відповідних параметрів ущільнюючого обладнання (інтенсивність ущільнення, кількість проходів і т.ін.).

2.10.2. Контроль якості у процесі будівництва

Повинні бути перевірені джерела отримання матеріалів та проконтрольована їх якість, а також якість виконання робіт. Повинна бути приділена увагу таким аспектам.

Привізні матеріали

Повинна бути перевірена якість та кількість привізних матеріалів (мінеральні матеріали, цемент, вода та будь-які добавки), включаючи їх правильне використання на дорозі. Кожний матеріал повинен відповідати стандарту, оскільки будь-яке відхилення у якості окремого матеріалу може вплинути на отримання шару, що рециклується, який відповідає за якістю всім встановленим вимогам.

Вміст цементу

Витрата цементу при розподілі його по поверхні дорожнього одягу, який рециклується, може бути перевірена за допомогою килимка або піддона відомої ваги та площі, укладеного на поверхню перед розподілом та потім зваженого. Ця операція повинна частіше повторюватися у вітряні дні. Щоб визначити витрату цементу на 1 м³ матеріалу, який рециклується, необхідно чітко знати як товщину шару, що рециклується, так і щільність матеріалів на місці проведення робіт.

Коли цемент подається прямо до змішувальної камери ресайклера у вигляді суспензії, повинна контролюватися робота розпилюючих сопел, а

отримана інформація з мікропроцесорного регулюючого пристрою повинна порівнюватися з оптимальною витратою цементу. Такий контроль повинен проводитися як мінімум один раз вранці та один раз після обіду.

Простий візуальний огляд поверхні до та після розподілу цементу дозволить зробити загальну оцінку однорідності його розподілу.

Вологість

Вологість матеріалів, які рецикуються, є важливою характеристикою, оскільки вона суттєво впливає на ущільнення та, крім того, забезпечує досягнення необхідних значень міцності. Тому подача води повинна контролюватися дозуючим пристроєм ресайклера. Оптимальний вміст вологи повинен встановлюватися постійно, інакше буде складно досягти необхідної щільності протягом терміну зручнооброблюваності суміші.

Визначення вологості повинно проводитися на кожних 200 – 500 м² площі рецикульованого матеріалу. Результати повинні бути зіставлені з даними вимірювань експрес-методами, такими як ізотопний аналіз, із застосуванням карбиду кальцію та ін.

Ситовий аналіз дає можливість оцінити ефективність фрезування та однорідність шару, що рецикується. Він також застосовується для перевірки та контролю необхідної робочої швидкості ресайклера.

Необхідно проводити хоча б один ситовий аналіз у день. Такий контроль повинен бути більш частим на ранніх стадіях робіт.

Однорідність суміші

Однорідність суміші повинна оцінюватися візуально, а також у випадково відібраних пробах по товщині та по площі. Слід брати до уваги, що однорідності, як правило, важко досягти у певному напрямку. Крім визначення зернового складу для оцінки однорідності, ці проби можуть бути використані для встановлення максимальної щільності сухих матеріалів, значень механічної міцності, модулів пружності і т.ін.

Ущільнення

Контроль щільності здійснювати складно, оскільки неоднорідність матеріалів, які рецикуються, ускладнює можливість встановити величину показника, з яким повинно зіставлятися виміряне значення. У зв'язку з цим рекомендується погоджувати дані по щільності з параметрами процесу ущільнення (кількість проходів котка, інтервал часу між перемішуванням та ущільненням і т.ін.)

Необхідні значення максимальної щільності та оптимальної вологості мають бути встановлені стандартними методами визначення залежності

щільності від вологості. На ділянці дороги і щільність, і вологість, як правило, контролюються за допомогою нейтронного методу. Середня щільність сухого матеріалу, виміряна у будь-якій точці, ніколи не повинна бути нижче 97 % від максимально допустимої щільності.

Вимірювання щільності нейтронним методом (рис. 2.29) повинно проводитися у випадково вибраних місцях на кожній смузі сухого рецикльованого шару. Принаймні одне вимірювання необхідно виконувати на 200 м² площі покриття.

При використанні приладів для оцінки щільності нейтронним методом слід пам'ятати, що отримане значення вологості може бути завищеним, приводячи до більш низьких значень щільності у сухому стані [10], у зв'язку з присутністю водню у рецикльованих асфальтобетонних сумішах. Тому прилади нейтронного типу повинні бути попередньо відтаровані для можливості вимірювання таких матеріалів.

Глибина рециклювання

Важливо контролювати товщину шару, що рециклюється. Вона залежить не тільки від можливостей ресайклера, але також від якості та кількості привізних матеріалів (цемент або мінеральні матеріали), кількості проходів котка та необхідності виконання робіт з профілювання. Фактична товщина не повинна бути нижче розрахункової.



Рис. 2.29. Контроль щільності нейтронним методом

Якщо товщина шару значно перевищує розрахункову величину, це може привести до зниження вмісту цементу на сантиметр рецикльованого матеріалу та, відповідно, до зниження міцності. Виключно пряме вимірювання щільності можливе на кернах, узятих через певний час після будівництва,

буває важко побачити границю між укріпленою та неукріпленою частиною шару. Проте необхідність руйнування покриття при взятті кернів обумовлює його застосування до 1 – 2 кернів на кілометр.

Під час будівництва бажано проводити відривання шурфів для контролю товщини шару з рецикльованого матеріалу до його ущільнення. Щоденно необхідно влаштовувати два шурфи – перший вранці, а другий – у середині робочого дня.

Зовнішній вигляд та геометрія поверхні

Поверхня покриття повинна перевірятися на відповідність всім геометричним параметрам (включаючи поперечні похили та розміри) та на відповідність за зовнішнім виглядом (відсутність ослаблених зон).

2.10.3. Контроль якості закінчених робіт

Темп рециклювання дорожніх одягів не повинен перевищувати 3000 м² у день для можливості виконання відповідних контрольних випробувань. При цьому повинні контролюватися такі параметри, описані нижче.

Товщина рецикльованого шару

У п. 8.2.5 рекомендується брати хоча б один керн (рис. 2.30) на кілометр, хоча це може викликати деякі проблеми, якщо виконувати цю операцію на ранніх стадіях формування структури матеріалу у покритті. Не зважаючи на труднощі з точним встановленням нижньої межі укріпленого шару, необхідно контролювати, щоб середня товщина шару, що рециклюється, була рівною або вище необхідної, та щоб у будь-якій точці мінімальна товщина не була нижче допустимої. В останньому випадку товщина шару асфальтобетонного покриття, який укладається зверху, повинна бути збільшена для компенсації недостатньої товщини рецикльованого шару, а у окремих випадках укріплений шар повинен бути зруйнований та побудований заново.

Керни, відібрані для вимірювання товщини рецикльованого шару, можуть також використовуватися для контролю щільності, модуля пружності, міцності при стисканні або міцності на розтягування при розколі.



Рис. 2.30. Керни, узяті з рецикльованого з додаванням цементу покриття

Механічна міцність

Результати випробування щільності зразків, виготовлених з матеріалів, які рецикуються, у ході будівництва, повинні якомога ближче відповідати необхідним значенням на ділянці.

Як мінімум дві серії зразків повинні виготовлятися щоденно – одна вранці, а інша – у другій половині дня. Це необхідно для випробування як мінімум двох серій (по 3 зразки у кожній серії) зразків на сьому добу.

Кількість зразків мінятиметься залежно від таких умов:

- мінімум одна серія з трьох зразків повинна виготовлятися через кожні два або три дні для їх випробування на 28 добу;

- якщо рецикування ведеться одночасно двома машинами, то не менше двох серій зразків повинно виготовлятися щоденно для кожної машини.

Фракція рецикльованого матеріалу, що залишилася на ситі 40 мм, повинна бути видалена перед виготовленням зразків. Зразки повинні бути діаметром 15 см та висотою 18 см.

Хоча контроль здійснюється, головним чином, для встановлення міцності при стисканні, рекомендується приготувати декілька додаткових серій зразків для визначення міцності на розтягування при розколі або модулів пружності.

Якщо для певної смуги рецикльованого покриття випробування зразків показали дуже високі або низькі результати, то повинні бути узяті додаткові керни з покриття для отримання усереднених даних. Вони повинні бути зіставлені з випробуванням кернів, взятих з інших смуг, де матеріали, які рецикуються, мають близькі властивості та де отримані на зразках показники

міцності не нижче необхідних. Ухвалення рішення про приймання або бракування смуги повинне ґрунтуватися на результатах такого зіставлення.

Відмітки поверхні покриття

Відмітки поверхні покриття по всій ділянці не повинні відрізнятися більш ніж на ± 15 мм від проектного значення.

Ширина рецикльованого шару

Ширина рецикльованого шару повинна бути не менше необхідної по всій довжині дороги. Більш того, необхідно контролювати, щоб матеріал з укріплених узбіч не був рецикльований у покритті.

Рівність поверхні

Поверхня рецикльованого з додаванням цементу шару повинна бути рівною без будь-яких руйнувань та з необхідним поперечним похилом. На ній не повинна затримуватися вода. Встановлене значення показника рівності поверхні (IRI) повинне бути менше 5 на всій довжині покриття та рівним 4 або нижче на 50 % його довжини.

Прогини

Вимірювання прогинів здійснюється для оцінки досягнутої несучої здатності:

- через короткий час (від 3 до 7 днів після рециклювання) можна перевірити однорідність укріплення та встановити неприпустимо ослаблені зони, які можуть потребувати збільшення товщини шару асфальтобетонного покриття, який вкладається зверху. Проте такі вимірювання дорого коштують та є складними для виконання без перешкод при виробництві робіт на відносно великих ділянках;
- вимірювання, виконані через більший проміжок часу (28 днів після рециклювання), дозволяють оцінити несучу здатність рецикльованого дорожнього одягу. У принципі такі вимірювання не є абсолютно необхідними.

Відображені тріщини

Візуальний контроль наявності тріщин, здатних викликати появу відображених тріщин у верхньому асфальтобетонному шарі покриття, також повинен включатися у перевірку якості рецикльованого покриття. Якщо знайдені такі тріщини, їх, у випадку необхідності, потрібно відповідним способом прибрати.

2.11. ВАРТІСТЬ

2.11.1. Вступ

При економічному порівнянні різних варіантів будівництва нового покриття або відновлення існуючого, необхідно враховувати усі витрати за термін служби покриття, які включають:

- вартість будівельних робіт;
- витрати на утримання та експлуатацію дороги;
- витрати на влаштування шарів перекриття та захисних шарів;
- витрати користувачів доріг.

Залишкова величина вартості дорожнього одягу у кінці терміну служби повинна бути вирахована з цих вартостей.

У цьому розділі розглядається тільки вартість будівництва рецикльованого шару. Для встановлення розподілу вартості використані дані робіт з рециклювань дорожніх одягів, виконаних у Іспанії [10], які повинні корегуватися в інших країнах з урахуванням місцевих умов.

2.11.2. Вартість будівництва рецикльованого шару

Вартість рециклювання дорожнього одягу із застосуванням цементу залежить, головним чином, від таких чинників [10], [28]:

1. Об'єм матеріалу, що рециклюється, зокрема:

- товщина шару рециклювання (чим більша товщина, тим нижча продуктивність та вища вартість);
- загальна площа дороги, що рециклюється, (чим менша площа, тим більший вплив окремих складових вартості, незалежних від розміру ділянки, наприклад, підготовка обладнання);
- розміри площі поверхні, що рециклюється, (наприклад, через перемінну ширину, суттєво знижується продуктивність машин та відповідно підвищується вартість).

2. Характеристики дорожнього одягу, що рециклюється, які включають як природу та властивості матеріалів у шарах, так і товщину різних шарів. Чим міцніше матеріали та чим більше товщина шарів з них, тим вищий знос зубів та інших частин ресайклера і, отже, більш дорогою буде їх заміна і вище додаткова складова вартості, викликана зниженням продуктивності.

3. Потужне обладнання, що використовується для рециклювання. є більш дорогим, але, як правило, така додаткова вартість істотно компенсується більш високою продуктивністю та підвищеною якістю матеріалів, які рециклюються. З іншого боку, застосування спеціального обладнання для введення цементу безпосередньо у ресайклер у вигляді суспензії дозволяє заощадити на витраті в'язучого порівняно з розподілом сухого цементу за рахунок більш точного дозування та зниження втрат цементу;

4. Необхідна кількість цементу залежить від характеристик матеріалів, які рецикуються, та мають вплив на загальну вартість робіт з рецикування:

- за вартістю самого в'язучого, яка представляє основну складову вартості робіт з рецикування;

- за помітним впливом на змінну продуктивність, особливо для робіт з використанням цементної суспензії, оскільки більше зупинок ресайклера потрібно при подачі цементу у порошкоподібному стані. Ці операції можуть тривати до 30 хвилин для однієї цистерни та викликати перерви від 2 до 3 годин протягом звичайного робочого дня робіт з рецикування.

Взявши до уваги ці фактори, можна констатувати, що вартість робіт з рецикування може значно змінюватися залежно від об'єму матеріалів, які рецикуються, та необхідної кількості цементу.

Більш детально складові вартості робіт з рецикування розглянуті у наступних розділах.

2.11.3. Цемент

Вартість шару з рецикульованого матеріалу прямо пропорційна вмісту цементу у його складі. Додатковими складовими вартості є транспортні витрати та тривалість будівництва. Якщо прийняти вартість цементу у розмірі 0,07 €/кг (у цінах 2002 року), а щільність сухого матеріалу в ущільненому стані рівною 2100 кг/м³, то вартість 1 м² покриття, залежно від вмісту цементу, наведено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Залежність вартості покриття від вмісту цементу

Вміст цементу	(%)	3	4	5
	кг/м ³ (товщина шару 20 см)	12,6	16,8	21,0
Вартість, €/м ²		0,88	1,18	1,47

2.11.4. Обладнання для рецикування

Вартість обладнання, яке включає установки для приготування цементної суспензії, ресайклери та котки для ущільнення, залежить від розміру ділянки, що рецикується.

З інших чинників можна виділити такі:

- природа матеріалів (чим міцніший матеріал, тим більше знос зубів та інших частин машини і нижче продуктивність ресайклера). Це може спричинити додаткове підвищення вартості більше ніж на 0,12 €/м²;

– їх зерновий склад (наприклад, більш крупний щебінь основи типу «макадам», викличе зниження продуктивності).

Існує принципова відмінність між роботами великого та малого обсягів.

Роботи значного обсягу (більше 50000 м²)

Загалом, складова вартості обладнання може бути оцінена у розмірі 0,06 €/м² на кожний сантиметр шару, що рециркулюється. У разі рециркулювання на глибину 20 см з середньою продуктивністю 4000 м²/день, вартість обладнання у загальній вартості робіт може бути представлена наступним чином (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Вартість обладнання

Складові вартості	Вартість на 1 м ² , €
Транспортування та демонтаж обладнання	0,19
Знос зубів (залежить від характеристик матеріалу)	0,14
Установка для приготування цементної суспензії	0,26
Ресайклер	0,57
Коток	0,13
Загальна вартість	1,29

Наведені у табл. 2.7 складові вартості обладнання є орієнтовними, оскільки не включають ряд показників, що змінюються. Наприклад, внесок мобілізаційного чинника, з оцінною вартістю 9,015 €, знижується зі збільшенням обсягу робіт; знос зубів фрези у значній мірі залежить від природи матеріалів; останні три складові залежать від продуктивності прийнятого обладнання і т.ін. На ділянках робіт площею більше 50000 м² вартість обладнання може знизитися з 1,05 до 1,08 €/м².

Незначний обсяг робіт

Транспорт та розгортання обладнання на об'єкті в основному впливає на вартість робіт з рециркулювання при незначному їх обсязі. Щоб оцінити цей вплив, використовується простий спосіб розрахунку:

- визначається кількість днів рециркулювання, виходячи із середньої продуктивності (як правило, між 2500 та 5000 м²/день);
- отримане значення множиться на 6,160 €;
- додається сума у 9,015 € на транспортування обладнання та інші витрати.

Наприклад, для рециркулювання 10000 м² буде потрібно три робочі дні, загальна вартість робіт складе 27720 €, тобто 2,77 €/м².

З іншого боку, для рециклювання площі 20000 м² буде потрібно шість робочих днів (продуктивність зростає із збільшенням обсягу робіт) та ще один день буде потрібно для мобілізації техніки. Загальна вартість робіт складе 46200 €, тобто 2,31 €/м².

У будь-якому випадку ці цифри є тільки орієнтовними і вони повинні бути перевірені виконавцями перед складанням планів невеликих обсягів робіт з рециклювання дорожніх одягів, оскільки є багато факторів, які впливають на вартість робіт.

Необхідно відзначити, що безліч компаній, що спеціалізуються на технології рециклювання дорожніх одягів із застосуванням цементу, активно працюють у різних країнах у всьому світі. Ці фірми мають у своєму розпорядженні як сучасне обладнання, так і штат досвідчених працівників, які добре розбираються у технології робіт, та, як правило, вони діють як субпідрядники робіт з рециклювання, а також із зміцнення шарів дорожніх одягів.

2.11.5. Додаткове обладнання та роботи

Додаткові машини включають:

- автогрейдер для профілювання та виправлення поперечного профілю покриття, з експлуатаційною вартістю 45,7 €/год;
- водовозка для доставки води у ресайклер та в установку для приготування цементної суспензії, якщо вона застосовується, з експлуатаційною вартістю 21,0 €/год.

Їх сумісний вплив на вартість може бути оцінений у розмірі 66,7 €/год × 10 год/день / 4000 м²/день, тобто 0,16 €/м².

Для влаштування швів у свіжоукладеному шарі може бути потрібна самохідна машина. Вартість виконання цієї операції складає близько 0,6 € на один погонний метр шва. При влаштуванні швів через 3 м вартість на одиницю площі складає 0,21 €/м².

Також повинні бути враховані такі види робіт, як видалення крупних уламків, планування узбіч і т.ін. Ця вартість може бути оцінена так: 2 робітники × 8,1 €/год × 10 год/день / 4000 м²/день = 0,04 €/м².

2.11.6. Інші види витрат

Перераховані складові вартості робіт з рециклювання дорожніх одягів враховують ряд витрат:

- влаштування шару догляду за рецикльованим покриттям (близько 0,21 €/м²);
- доставка привезених мінеральних матеріалів, коли необхідно мати суміш потрібного зернового складу;

– виправлення поперечного профілю покриття та /або зміна товщини шару, що рециркулюється.

2.11.7. Загальна вартість

З урахуванням приведених вище складових загальна вартість рециркулювання дорожнього одягу площею 50000 м² та товщиною 20 см або 30 см може змінюватися у межах значень наведених у табл. 2.8 та 2.9.

Таблиця 2.8

Середня вартість рециркулювання дорожнього одягу товщиною 20 см

Складові вартості	Мінімальна, €/м ²	Максимальна, €/м ²
Цемент	0,88	1,47
Обладнання для рециркулювання	1,08	1,29
Додаткове обладнання	0,37	0,43
Додаткова робота	0,03	0,03
Догляд за покриттям	0,27	0,27
Всього	2,63	3,60

Таблиця 2.9

Середня вартість рециркулювання дорожнього одягу товщиною 30 см

Складові вартості	Мінімальна, €/м ²	Максимальна, €/м ²
Цемент	1,32	2,21
Обладнання для рециркулювання	1,57	1,85
Додаткове обладнання	0,40	0,46
Додаткова робота	0,04	0,04
Догляд за покриттям	0,27	0,27
Всього	3,60	4,83

Наведені дані дозволяють зробити висновок про те, що загальна вартість рециркулювання дорожнього одягу площею 50000 м², включаючи влаштування швів, знаходиться у межах від 2,6 до 4,8 €/м², та залежить як від товщини шару, який рециркулюється, так і від концентрації цементу. Вартість робіт з рециркулювання ділянки меншого розміру буде значно вища.

1. Chaussées semi-rigides - Semi-Rigid Pavements. Publication No. 08.02.B, AIPCR - PIARC, Paris (France), 1991 (in French and English) 1 - 24 - 2.
2. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. (USA), 1993 5 - 15 - 2.
3. The performance of roads constructed by cold in situ recycling 1985 - 1987. General Information Report 17, Energy Efficiency Office, Department of the Environment, United Kingdom, March 1994.
4. Guide to in-situ deep-lift recycling of granular pavements. Roads and Traffic Authority, New South Wales (Australia), 1994 5 - 2.
5. Koliass S. Mechanical properties of cement-treated mixtures of milled bituminous concrete and crushed aggregates. Materials and Structures, Vol. 29, RILEM, Bagnaux (France), August/September 1996 4 - 14 - 2.
6. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. Publication No. FHWA-SA-98-042, Federal Highway Administration, Washington DC (USA), 1997 1 - 2.
7. Détermination par auscultation dynamique du délai de maniabilité des graves traitées aux liants hydrauliques (Détermination by means of dynamic auscultation of the workability time of cement-treated granular materials). Norme NF P 98 - 231, Partie 5, AFNOR, Paris (France), 1997 (in French) 3 - 4.
8. Détermination par compactage différé du délai de maniabilité des graves traitées aux liants hydrauliques (Détermination by means of deferred compaction of the workability time of cement-treated granular materials). Norme NF P 98 - 231, Partie 6, AFNOR, Paris (France), 1997 (in French) 3 - 4.
9. Lefort M. Le point sur le traitement en place à froid des anciennes chaussées (The state of cold in situ recycling of old pavements). Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 212, Paris (France), November - December 1997 (in French) 1 - 24 - 1.
10. Wirtgen Cold Recycling Manual. Wirtgen GmbH, Windhagen (Germany), November 1998 5 - 18 - 2.
11. Jofre C., Kraemer C. y Díaz Minguela J. Manual de firmes reciclados in situ con cemento (Manual on In Situ Pavement Recycling with Cement). Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, Madrid (Spain), 1999 (in Spanish) 4 - 25 - 27 - 39 - 1.
12. Wilton L. J. and Earland M. Design guide and Specifications for structural maintenance of highway pavements by cold in-situ recycling. TRL Report 386, Transport Research Laboratory, Crowthorne (England), 2000 5 - 2.
13. Cement. Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. European Standard EN 197 - 1, CEN, Brussels (Belgium), June 2000.

14. Hydraulic road binders. Composition, specifications **and conformity** criteria for common cements. European Prestandard ENV 13282. CEN. Brussels (Belgium), June 2000.

15. Standard Test Methods for Laboratory Compaction **Characteristics** of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³(2,700 kN-m/m³)). **ASTM Standard** D1557-00, American Society for Testing and Materials, West **Conshohocken**, Pennsylvania (USA), 2000 3 – 1

16. Abdo J. Reciclado de firmes con cemento: aspectos **generales**. (**Recycling pavements with cement: general topics**). Proceedings, First **International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement**. IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 (in Spanish) 4 – 2.

17. Bense P. et al The double soil treatment with lime and **hydraulic binder**. Use of an only binder. Proceedings, First **International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement**, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 3 – 3.

18. Collings D.C. Experiences gained from ten years of **pavement rehabilitation by in situ recycling with cement and combinations of cement/bituminous stabilising**. Proceedings, First **International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement**, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 1 – 2.

19. Corté J.-F. et al. The French Technical Guide on Soil **Stabilisation** with Lime and Hydraulic Binders. Proceedings, First **International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement**. IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 3 – 3.

20. Díaz Minguela J. Estabilización y reciclado. Estado **actual de la técnica** en España (State of the art of in situ subgrade stabilisation and **pavement recycling with cement in Spain**). Proceedings, First **International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement**, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 (in Spanish) 1 – 2.

21. Jasienski A. and Rens, L. In situ recycling with cement. **The Belgian experience**. Proceedings, First **International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement**, IECA – AEC – ATC. **Salamanca** (Spain), 1 – 4 October 2001 3 – 1.

22. Jofré C. La técnica del reciclado de firmes con cemento (**The technique of pavement recycling with cement**). Proceedings, First **International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement**. IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 (in Spanish) 1 – 6.

23. Jofré C. Panorámica de la maquinaria moderna para la **ejecución** de obras de estabilización y de reciclado in situ con cemento (**An overview of modern equipment for subgrade stabilisation and in situ pavement recycling with cement**). Proceedings, First **International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement**, IECA – AEC – ATC, Salamanca (**Spain**). 1 – 4 October 2001 (in Spanish) 1 – 2.

24. Kanno Y. et al. Application of cement and asphalt emulsion to in situ recycling base course method. Proceedings, First International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 3 – 3.
25. Koliass S. et al. Mechanical properties of flexible pavement materials recycled with cement. Proceedings, First International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001.
26. Koubowitz F. A special hydraulic binder for heavily contaminated tar-bound material. Proceedings, First International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 3 – 3.
27. Neussner E. The importance of stabilisation procedures. History and current practices in Germany. Proceedings, First International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 1 – 2 3 – 3.
28. Sommer H. and Pichler, R. Pre-cracking road bases by using a cutting disc and a special hydraulic road binder. Proceedings, First International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 3 – 3.
29. Vorobietz G. Australian experiences on subgrade stabilisation and pavement recycling. Proceedings, First International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 1 – 2.
30. Yoshida T. and Noda, E. Technical guidelines for in situ recycling of base course in Japan. Proceedings, First International Symposium on Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement, IECA – AEC – ATC, Salamanca (Spain), 1 – 4 October 2001 5 – 2.
31. Recyclage des chaussées souples existantes – Recycling of Existing Flexible Pavements. Publication No. 05.07.B, AIPCR – PIARC, Paris (France), 2001 (in French and English) 1 – 6.
32. Retraitement en place des anciennes chaussées aux liants hydrauliques. CCTP type. Bordereau de prix unitaires BPU. Détail estimatif DE. Collection Technique Cimbéton T 58. Cimbéton, Paris (France), 2001 (in French) 8 – 1 9 – 1.
33. Standard Specification for Portland Cement. ASTM Standard C150-02a, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania (USA), 2002 3 – 3.
34. Reciclado in situ con cemento de capas de firme (In Situ Recycling of Pavement Layers Using Cement). Article 21. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (Specifications for Road Maintenance Works), Ministerio de Fomento, Madrid (Spain), 2002 (in Spanish) 3 – 2 8 – 1.
35. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. ASTM Standard C595-03, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania (USA), 2003 3 – 3.

Наукове видання

РЕЦИКЛЮВАННЯ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

Частина 1

*ПОСІБНИК З ХОЛОДНОГО РЕЦИКЛЮВАННЯ
ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ БЕЗПОСЕРЕДНЬО НА ДОРОЗІ
З ВИКОРИСТАННЯМ ЦЕМЕНТУ*

Під заг. ред. В. Жданюка і Д. Сибільського

Відповідальний за випуск *В. Зінченко*

Редактор *Л. Пустовойтова*

Комп'ютерна верстка *Ю. Манохіної*

Підписано до друку 05.10.2005 р.
Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк RISO. Умовн. друк. арк. 5,6. Обл.-вид. арк. 6,6.
Замовлення № 824/05. Тираж 200 прим. Ціна договірна.

Видавництво ХНАДУ, 61200, м. Харків-МСП, вул. Петровського, 25

*Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення
України про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції,
серія ДК № 897 від 17.04.2002 р.*