

АСПЕКТИ УСПІШНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ГАРЯЧОГО РЕСАЙКЛІНГУ ДОРОЖНЬОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Терещенко Т.А., канд. хім. наук, провідний науковий співробітник відділу конструкцій дорожнього одягу

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНДІ»)»

Наявність в Україні потенційно великого обсягу робіт з ремонтів та реконструкції автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям дозволяє прогнозувати масштабне впровадження різних технологій ресайклінгу дорожнього асфальтобетону, у тому числі технологій промислового ресайклінгу, які передбачають виготовлення регенерованих сумішей у змішувальних установках з використанням матеріалу зношених асфальтобетонних шарів у вигляді кондиційної вторинної сировини – асфальтобетонної крихти [1, 2].

Класифікація та застосування технологій ресайклінгу дорожнього асфальтобетону при будівництві автомобільних доріг

Згідно зі світовою практикою дорожнього будівництва, технології ресайклінгу дорожнього асфальтобетону класифікують у залежності від виду і призначення робіт та діапазону технологічних температур процесів виготовлення і застосування регенерованих сумішей наступним чином [3]:

- гарячий ресайклінг – промисловий ресайклінг з виготовленням регенерованих гарячих асфальтобетонних сумішей (РГС) у змішувальних установках (Hot Recycling; HR);
- гарячий ресайклінг методом «на дорозі» – ресайклінг з виготовленням регенерованих гарячих асфальтобетонних сумішей змішуванням на дорозі (Hot-in-place-recycling; HIR);
- холодний ресайклінг – промисловий ресайклінг з виготовленням регенерованих холодних сумішей у змішувальних установках (Cold Recycling; CR);
- холодний ресайклінг методом «на дорозі» – ресайклінг з виготовленням регенерованих холодних сумішей змішуванням на дорозі з обробкою матеріалу на неповну товщину асфальтобетонного шару (Cold-in-place-recycling; CIPR);
- глибока регенерація [дорожнього одягу] – холодний ресайклінг матеріалу на повну товщину асфальтобетонного шару з використанням дисперсних матеріалів розташованого нижче шару (Full-depth-reclamation; FDR).

Методи гарячого ресайклінгу призначають при влаштуванні (ремонті) шарів асфальтобетонного покриття, методи холодного ресайклінгу – переважно для влаштування укріплених або стабілізованих шарів основ дорожнього одягу.

У табл. 1 з урахуванням положень [3] наведено рекомендації щодо застосування технологій ресайклінгу асфальтобетону при ліквідації різних видів дефектів нежорстких дорожніх одягів; до таблиці внесено також технології та нові розробки, які підтримуються українськими нормативними та технологічними документами в галузі дорожнього будівництва [1, 4-6].

Таблиця 1 – Застосування технологій ресайклінгу дорожнього асфальтобетону

Види дефектів нежорсткого дорожнього одягу	Технологія ресайклінгу			
	Гарячий ресайклінг	Гарячий ресайклінг «на дорозі»	Холодний ресайклінг	Глибока регенерація
Тріщиноутворення, пов'язане з навантаженням (<i>Load-associated cracking</i>):				
- сітка тріщин [внаслідок недостатньої несучої здатності дорожнього одягу] (<i>Alligator cracking</i>)	+	-	+	+
- тріщини при осіданні краю покриття (<i>Pavement edge cracks</i>)	+	-	+	+
- тріщини в місцях проїзду коліс [поздовжні тріщини, каналізований рух] (<i>Wheel path cracks</i>)	+	+ ¹⁾	+	+
- тріщини в місцях зсуву [верхнього шару асфальтобетону, або шару зносу] (<i>Slippage cracks</i>)	+	+ ²⁾	-	-
Тріщиноутворення, не пов'язане з навантаженням (<i>Non-load associated cracking</i>):				
- поздовжні тріщини в місцях руйнування шва (<i>Longitudinal joint cracks</i>)	+	+	-	-
- поперечні тріщини (температурного характеру або внаслідок старіння асфальтобетону) (<i>Transverse cracks</i>)	+	-	+	+
Відображені тріщини (<i>Reflection cracks</i>)	+	-	+	+
Поверхневі дефекти (<i>Surface defects</i>):				
- викришування кам'яних матеріалів (<i>Raveling</i>)	+	+ ³⁾	-	-
- виступання бітуму (<i>Bleeding (Flushing)</i>)	+	+	-	-
- втрата зчіпних властивостей (<i>Slipperiness</i>)	+	+ ³⁾	-	-
Деформація (<i>Deformation</i>):				
- напливи (<i>Corrugations</i>)	+	+	-	-
- колія (<i>Rutting – shallow</i>)	+	+	-	-
- глибока колія (<i>Rutting - deep</i>)	+	-	+ ⁴⁾	+ ^{4),5)}
Незадовільна рівність (<i>Ride Quality/Roughness</i>):				
- нерівності покриття у поздовжньому та поперечному напрямках (<i>General unevenness</i>)	+	-	-	-
- осідання (<i>Depressions (settlements)</i>)	+ ⁶⁾	+ ⁶⁾	-	+ ⁷⁾
- здимання (<i>High spots</i>)	+ ⁶⁾	+ ⁶⁾	-	+ ⁸⁾
Незадовільний стан шарів основи та/або земляного полотна за показниками ступеня ущільнення та/або зволоженості (<i>Problem Base/Subgrade, soft, wet</i>)	-	-	-	+
<p>Примітка. При виборі технології ресайклінгу важливим є обсяг робіт.</p> <p>¹⁾ Призначають при тріщиноутворенні виключно у верхньому шарі асфальтобетонного покриття.</p> <p>²⁾ Призначають, якщо глибина обробки є більшою за товщину шару, в якому відбувся зсув.</p> <p>³⁾ Згідно з [7] призначають для верхніх шарів асфальтобетонного покриття товщиною не більше ніж 4 см.</p> <p>⁴⁾ Переважно з коригуванням зернового складу мінеральної частини.</p> <p>⁵⁾ Обробка з додаванням ґрунтів земляного полотна може потребувати застосування хімічних добавок.</p> <p>⁶⁾ Не призначають, якщо деформації спричинено незадовільним станом шарів основи та/або земляного полотна.</p> <p>⁷⁾ Призначають, якщо деформації спричинено перезволоженням ґрунтів земляного полотна.</p> <p>⁸⁾ Призначають, якщо деформації було спричинено морозним здиманням ґрунтів земляного полотна.</p>				

Проектні рішення з застосуванням промислового ресайклінгу асфальтобетону приймають переважно при капітальному ремонті та реконструкції доріг, а також при новому будівництві. Щодо застосування технологій ресайклінгу асфальтобетону методами виконання робіт на дорозі також існують обмеження.

Чинником, який обмежує застосування технологій холодного ресайклінгу на дорозі, є втрата несучої здатності - у тому числі внаслідок перезволоження, незадовільного ущільнення, втрати структурної цілісності - шарів основи та/або земляного полотна. У таких випадках альтернативою може бути глибока регенерація дорожнього одягу.

Чинником, який обмежує застосування технологій гарячого ресайклінгу на дорозі, є значна зміна властивостей бітуму в існуючому покритті, яка встановлюється переважно за показником пенетрації та температурою розм'якшення бітуму.

У процесі гарячого ресайклінгу методом «на дорозі» внаслідок жорстких умов розігрівання покриття асфальторозігрівачем відбувається інтенсивне старіння бітуму, що проявляється у додатковому (поряд з набутих у процесі експлуатації) зниженні показника пенетрації бітуму на (20 – 25)% [7], а також у підвищенні верхнього значення температурного інтервалу роботи в'язучого в покритті¹ [8]. Застосування добавок для зниження жорсткості асфальтобетонів, регенованих методом гарячого ресайклінгу на дорозі, може бути недостатньо ефективним [9]. У таких випадках, а також за наявності в асфальтобетонному шарі будь-якого з матеріалів: кам'яновугільна смола, дьоготь, гумова крихта, полімерне в'язуче, геотекстиль – технологію гарячого ресайклінгу на дорозі не призначають.

Вибір технології ресайклінгу асфальтобетону при ремонтах автомобільних доріг здійснюють за результатами діагностики та оцінки стану дорожнього одягу з проведенням інженерних вишукувань на ділянці проекту.

Аспекти впровадження промислового гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону

Гарячий ресайклінг – у порівнянні з холодним – є більш ефективною технологією промислового ресайклінгу асфальтобетону, оскільки забезпечує повторне використання стратегічно важливої сировини – дорожнього бітуму [10]. Поряд з цим, при застосуванні РГС досягається попередня несуча здатність конструкції без зміни висотних позначок; застосування холодних регенованих сумішей призводить до зниження несучої здатності шару регенованого матеріалу, що потребує збільшення його товщини² [11]. Згідно з [11], існують різні аспекти успішного впровадження та досягнення економічної та соціальної ефективності технологій промислового гарячого ресайклінгу асфальтобетону.

Природоохоронні вимоги

У світовій практиці дорожнього будівництва впровадженню технологій промислового ресайклінгу асфальтобетону сприяє спрямованість державної політики на ресурсозбереження [11]. Основними положеннями регуляторних документів з цього напрямку є: заборона утворення відвалів (або встановлення високої плати за утворення відвалів) з придатних для повторного застосування матеріалів; встановлення порядку внесення до тендерної документації вимог до

¹ Визначають при випробуваннях бітумного в'язучого в системі “Superpave” за допомогою динамічного реометру зсуву (*DSR, dynamic shear rheometer*).

² При застосуванні холодних регенованих сумішей, укріплених цементом – приблизно в 2.5 рази [12].

асфальтобетонної крихти (АК); створення економічно вигідних умов для постачальників та споживачів АК.

Поряд з цим природоохоронні вимоги можуть накладати обмеження на впровадження технологій промислового гарячого ресайклінгу з виготовленням РГС з високим вмістом АК. Ця проблема стосується процесів виготовлення та застосування РГС з вмістом АК переважно 50% та вище, які потребують високих технологічних температур та призводять до підвищення шкідливих викидів у довкілля. Відповідні технології на даний час не підтримуються нормативними та технологічними документами у вітчизняній галузі дорожнього будівництва. У країнах з розвинутим ресурсозбереженням дотримання природоохоронних вимог при виготовленні РГС з високим вмістом АК забезпечується шляхом поєднання технологій гарячого ресайклінгу і технологій виготовлення гарячих асфальтобетонних сумішей при знижених температурах, які базуються переважно на застосуванні хімічних добавок [10].

Розвиток нормативно-технічної бази

На даний час промисловий ресайклінг дорожнього асфальтобетону в Україні підтримується основними документами [1, 4, 6]. Згідно з [6] вихідною сировиною для виготовлення РГС є: АК, крупні заповнювачі, дрібні заповнювачі, мінеральний порошок (або матеріал на його заміну), нафтовий дорожній в'язкий бітум, та, за необхідності, добавки.

У багатьох країнах з широко впровадженими технологіями промислового ресайклінгу асфальтобетону відомості щодо АК накопичуються замовником при обстеженні існуючого асфальтобетонного покриття та при вивченні документації стосовно ремонтів об'єкта [11]. За необхідності здійснюють пошук та обробку додаткових даних – наприклад, щодо наявності поліциклічних ароматичних вуглеводнів (у складі кам'яновугільних смол, дьогтю), або інших потенційно шкідливих складників старого асфальтобетону. Всі ці дані надаються підряднику у тендерній документації.

В Україні рішення щодо можливості використання АК у технологіях гарячого ресайклінгу приймається за результатами випробувань АК згідно з [6] з встановленням її придатності для виготовлення сумішей РГС (а) або РГС (б) згідно з [1].

Проектування нежорстких дорожніх одягів з конструктивними шарами з регенованих асфальтобетонів здійснюється згідно з [12] з урахуванням положень [1]: на етапі впровадження технологій доцільно здійснювати проектування для розрахункових параметрів навантажень групи не вище А2. РГС, з урахуванням рекомендацій щодо застосування РГС (а) або РГС (б), можуть бути використані для влаштування:

- нижніх асфальтобетонних шарів доріг II та III категорій з дорожнім одягом капітального типу;
- нижніх та/або верхніх асфальтобетонних шарів доріг III категорії з дорожнім одягом удосконаленого полегшеного типу;
- асфальтобетонних шарів доріг IV категорії з дорожнім одягом капітального типу.

У зв'язку з тим, що існує практика виділення пористих регенованих асфальтобетонів в окремий вид регенованих асфальтобетонів [11], на етапі апробації матеріалів та технологій конструювання асфальтобетонних шарів доцільно здійснювати на підставі вимог [1] до РГС (а) або РГС (б) I та щільних регенованих асфальтобетонів з таких сумішей з необхідним найбільшим номінальним розміром зерен мінеральної частини, зерновий склад яких задовольняє вимоги [1] до матеріалу одного з типів: А1; А; Б1; Б (для РГС (а) – також типу В) при вмісті АК:

- від 10% до 20% - переважно без використання добавок;

- понад 20%, у верхніх межах, встановлених в [1] – переважно з використанням добавок³.

При виборі добавок доцільно враховувати потенційний негативний вплив АК на водостійкість та міцність регенованих асфальтобетонів на стиск при 0 °С, а також на ущільнювальність РГС. Важливою функцією добавок для промислового гарячого ресайклінгу асфальтобетону є також забезпечення сумісності старого та нового бітуму за технологічних умов виготовлення РГС.

При впровадженні технології ресайклінгу згідно з [6] з економічної точки зору доцільно забезпечувати використання РГС у двох конструктивних асфальтобетонних шарах – наприклад, відповідно до варіантів конструкцій дорожніх одягів доріг III категорії, наведених у табл. 2.

Наведений у табл. 2 склад регенованих матеріалів дозволяє – без застосування добавок – прирівнювати марку бітуму в складі РГС до марки нового бітуму та, відповідно, встановлювати розрахункові характеристики регенованих асфальтобетонів як для стандартних асфальтобетонів на основі бітумних в'язучих вибраних марок.

При вмісті АК до 10% у верхньому шарі асфальтобетону, та до 20% - в інших шарах асфальтобетону, процедура підбору складу регенованих матеріалів не відрізняється від усталеної процедури підбору складу асфальтобетонів, що дозволяє значно знижувати витрати на дослідження та знижувати вартість проєктів. При вмісті до (15-20)% є можливим використання АК у нефракціонованому вигляді [14], що додатково підвищує економічний ефект від застосування вторинної сировини шляхом зменшення витрат на виготовлення та складування АК.

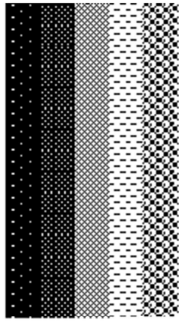
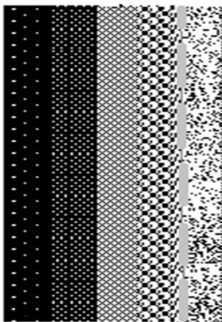
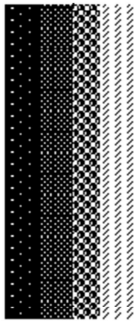
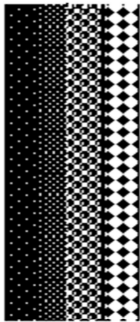
При прийнятті рішення щодо застосування РГС у двох [суміжних] конструктивних асфальтобетонних шарах пропонується обмежувати найбільший вміст АК у розташованому вище шарі значенням 10% (табл. 2). При використанні РГС у вирівнюючих шарах ураховують положення розділу 7 [1]. Згідно зі світовим досвідом застосування технологій промислового гарячого ресайклінгу асфальтобетону особливе практичне значення має однорідність АК, яка відповідно до [6] характеризується значенням коефіцієнта варіації вмісту кожної визначальної складової або допуском технічних характеристик⁴.

Важливо, що окремі національні стандарти країн ЄС встановлюють залежність найбільшого допустимого вмісту АК в РГС від однорідності АК з урахуванням допусків технічних характеристик [11]. Технічні умови постачання асфальтобетонних сумішей, чинні у Німеччині, встановлюють однорідність АК відповідно до табл. 3.

³ При вмісті АК понад: 10 % - у верхньому шарі асфальтобетону, 20 % - в інших шарах асфальтобетону, а також при застосуванні добавок для регенерації (пластифікації) бітуму підбір складу бітуму згідно з розділом 6 [5] є обов'язковим.

⁴ На даний час вимоги до однорідності АК для виготовлення РГС встановлено за коефіцієнтами варіації вмісту в'язного та фракцій мінеральної частини АК [1, 6].

Таблиця 2 – Варіанти конструкцій дорожніх одягів автомобільних доріг III категорії з застосуванням регенованих асфальтобетонів

Регіон України	Варіант конструкції дорожнього одягу	Матеріал конструктивного шару
Південний		Регенований асфальтобетон. РГС(6)І.Др.Щ.А.НП.10.БМП 60/90-52 (60) Регенований асфальтобетон. РГС(6)І.Кр.Щ.А.НП.15.БНД 60/90 Щ(Г)ПС-40, укріплена цементом, марки М60 (влаштовується згідно з [13]) Ґрунт, укріплений комплексним в'язучим, класу I Суміш С-5
Центральний		Регенований асфальтобетон. РГС(6)І.Др.Щ.А.НП.10.БМП 60/90-52 (60) Регенований асфальтобетон. РГС(6)І.Кр.Щ.А.НП.15.БНД 60/90 Щ(Г)ПС-40, укріплена цементом, марки М40 (влаштовується згідно з [13]) Суміш С-5 Захисно-армувальний прошарок Геоспан Крупний пісок
Південно-Східний		Регенований асфальтобетон. РГС(6)І.Др.Щ.А.НП.10.БМП 60/90-52 (60) Регенований асфальтобетон. РГС(6)І.Кр.Щ.А.НП.15.БНД 60/90 Чорний щебінь Активний металургійний шлак (влаштовується згідно з [13])
Північно-Східний		Регенований асфальтобетон. РГС(6)І.Др.Щ.А.НП.10.БМП 60/90-52 (60) Регенований асфальтобетон. РГС(6)І.Кр.Щ.А.НП.10.БМП 60/90-52 (60) Чорний щебінь Суміш С-4 з малоактивних шлаків

Примітка 1. Позначення регенованих матеріалів наведено згідно з розділом 5 [1] без зазначення характеристик АК.

Примітка 2. За наявності техніко-економічного обґрунтування на заміну сумішей РГС (б) I застосовують суміші РГА.

Таблиця 3 – Вимоги до однорідності АК для виготовлення гарячих асфальтобетонних сумішей, встановлені за значенням допуску визначальної складової ($T_{zul,i}$) для партії 500 т.

Визначальна складова, одиниця вимірювання	Допуск $T_{zul,i}$	
	РГС для шарів покриття	РГС для шарів основи
Температура розм'якшення вторинного бітуму, визначена за методом кільця і кулі, T_p , °C	8	8
Вміст вторинного бітуму, % за масою	1.0	1.2
Вміст фракцій мінеральної частини, % за масою, при розмірі зерен:		
менше ніж 0.063 мм	6.0	10.0
від 0.063 мм до 2.0 мм включно	16.0	16.0
понад 2 мм	16.0	18.0
Примітка 1. Одиниця вимірювання допуску $T_{zul,i}$ відповідає одинці вимірювання визначальної складової.		

Допустимий вміст АК в РГС Z_i , у відсотках за масою обчислюють за формулою (1) для всіх визначальних складових:

$$Z_i = \frac{k \cdot T_{zul,i}}{a_i} \cdot 100, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, значення якого залежить від складу та сфери застосування РГС (шари покриття або шари основи) та вибирається з ряду: 0.33 ÷ 0.50;

a_i – діапазон фактичних значень визначальної складової (різниця між найменшим і найбільшим значенням серії вимірювань без урахування значень, що різко відхиляються від ряду).

Найбільший допустимий для даної РГС вміст АК приймають як найменше серед усіх значень Z_i , обчислених за формулою (1) та встановлених технологією виготовлення РГС.

Технічні можливості

На території України діють асфальтобетонні заводи провідних світових фірм-виробників сучасного обладнання, для яких передбачено експлуатацію в складі з технологічними лініями гарячого ресайклінгу асфальтобетону згідно з [6]. Зазначений документ регламентує процес виготовлення РГС з введенням АК без попереднього розігрівання безпосередньо до змішувача. Відповідна технологія на даний час є оптимальним технічним та економічним рішенням питань промислового гарячого ресайклінгу асфальтобетону в Україні та дозволяє використовувати вторинну сировину у відносній кількості від 10% до 40% при оптимальній кількості (25 – 30)%.

Висновки

За підсумками аналізу світового досвіду впровадження технологій промислового ресайклінгу дорожнього асфальтобетону соціальна та економічна ефективність результатів залежить одночасно від багатьох чинників:

- законодавчої бази та нормативного забезпечення ресурсозберігаючих технологій;
- розвитку знань про особливості технологій;
- наявності технологічного обладнання відповідно до обсягів робіт;
- практики внесення у тендерні документи вимог до АК.

За підсумками аналізу стану нормативного забезпечення промислового ресайклінгу дорожнього асфальтобетону для підтримки впровадження розробок [1, 6] є необхідним:

- розроблення національного стандарту, який встановлює технічні вимоги до асфальтобетонної крихти для дорожніх робіт з урахуванням положень [1] та системи стандартів Європейського союзу;

- включення до комплексів робіт з реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг як основної сфери застосування ресурсозберігальних технологій робіт з повторним використанням дорожнього асфальтобетону;

- розвиток положень з визначення вартості робіт у будівництві в частині робіт з матеріалами, придатними для повторного застосування [16].

Продовження робіт з впровадження та розвитку технологій ресайклінгу дорожнього асфальтобетону сприятиме створенню оптимальних замкнутих циклів його використання в ланці «будівництво – експлуатація – механічна переробка – ресайклінг».

Література

1. Р В.2.7-37641918-887:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти
2. Провести дослідження і розробити рекомендації та технологічний регламент на приготування бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти [Текст]: Звіт про НДР (заключний) / Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДП «ДерждорНДІ»)
3. Kandhal, P. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments [Електронний ресурс] // P. Kandhal, R. Mallick. US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Research, Development, and Technology. - Publ. № FHWA-SA-98-042. - 1997 – Режим доступу: <http://www.fhwa.dot.gov> – Заголовок з екрану
4. ВБН В.2.3-218-539:2007 Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування з холодних сумішей, що містять фрезерований асфальтобетон
5. Р В.3.2-03450778-837:2014 Рекомендації з відновлення зношених шарів асфальтобетонного покриття за технологією гарячого ресайклінгу на дорозі
6. ТТР 42.1-37641918-418:2017 Типовий технологічний регламент на виготовлення бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти
7. Dunn, L. Basic Asphalt Recycling Manual [Електронний ресурс] // L. Dunn, S. Cross. US Department of Transportation, Federal Highway Administration; Asphalt Recycling and Reclaiming Association. – 2001. – 277 р. – Режим доступу до посібника: <http://www.arra.org> – Заголовок з екрану

8. Hafeez, I. Performance Characterization of Hot In-Place Recycled Asphalt Mixtures [Текст] / Imran Hafeez, Hasan Ozer, and Imad L. Al-Qadi // Journ. of Transportation Engineering. – 2014, August. – Vol. 140. - № 8. – 04014029. – 9 p.
9. Cox, B.C. Case Study of High-Traffic In-Place Recycling on U.S. Highway 49: Multiyear Performance Assessment [Текст] / Ben C. Cox, Isaac L. Howard, and Alex Middleton // Journ. of Transportation Engineering. – 2016, December. – Vol. 142. - № 12. – 05016008. – 12 p.
10. Терещенко, Т.А. Шляхи розвитку технологій гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону [Текст] / Т.А. Терещенко // Автошляховик України. – 2014. - № 2 – С. 42-48. – Бібліогр.: с. 48
11. Всесвітня дорожня асоціація. Технічний комітет С7/8 «Дорожні покриття». Рециркулювання дорожніх одягів. Частина 3. Посібник з гарячого рециркулювання асфальтобетону зі старих покриттів на заводі / Пер. з рос. В. Жданюка. Під заг. ред. В. Жданюка і Д. Сибільського. – Х.: Вид-во ХНАДУ, 2006. – 52 с
12. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Проектування. Будівництво
13. ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів
14. Терещенко, Т.А. Розрахунок зернового складу мінеральної частини регенерованих асфальтобетонних сумішей при використанні нефракціонованого асфальтобетонного грануляту [Текст] / Т.А. Терещенко // Збірник наукових праць «Дороги і мости». – 2015. – Вип. 15. - С. 59 – 65. – Бібліогр.: с. 65
15. ДСТУ-Н Б В.3.2-5:2016 Настанова з ліквідації вибоїн покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг
16. ДСТУ Б Д.1.1-1:2103 Правила визначення вартості будівництва