

Дубик О.М., аспірант
Талах С.М., к.т.н.

РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ НЕЖОРСТКОГО ТИПУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ (З ВИКОРИСТАННЯМ ПК CREDO РАДОН)

Національний авіаційний університет, saschadubik@ukr.net

У статті наведені результати розрахунку на міцність дорожніх одягів нежорсткого типу при застосуванні технології холодного ресайклінгу з використанням програмного комплексу «CREDO РАДОН». Виконаний аналіз залежностей розрахункового напруження розтягу при згині у нижньому шарі асфальтобетону та розрахункового активного напруження зсуву у шарах основи і ґрунту земляного полотна від глибини ресайклінгу. Було показано, що дорожній одягу нежорсткого типу на ділянках автомобільної дороги Київ – Ковель після виконання холодного ресайклінгу не задовольняє такому розрахунковому критерію як зсув.

Постановка проблеми

Проблеми дорожньої інфраструктури виникли одразу з початком будівництва автомобільних доріг. Вони полягають у створенні умов експлуатації покриття, інженерного облаштування доріг для створення інформаційного середовища, захисту доріг від впливу природно-кліматичних чинників, вирішенню організаційних і технологічних питань з будівництва доріг та інші.

Із вдосконаленням транспортних засобів і підвищенням розрахункової швидкості руху ці проблеми стають ще більш відчутними незалежно від того, де прокладені дороги і в якій країні. Зі збільшенням швидкості руху безумовно зростає інтенсивність руху, а, отже, відбувається вимогливіше ставлення до рівності і шорсткості дорожнього покриття.

Суттєве підвищення вантажопідйомності транспортних засобів приводить до суттєвих навантажень на дорожнє покриття і дорожній одяг, до пошуку нових матеріалів і технологій по влаштуванню покриттів. На сучасному етапі є багато пропозицій стосовно складу покриття і технологій його влаштування. Але для кожної країни, географічного положення, окремої природно-кліматичної зони, фінансового стану і економічного значення дороги вони будуть різні. Якщо у західних країнах можуть бути застосовані технології по влаштуванню покриттів на основі литого асфальтобетону, яку пропонує фірма «Техноніколь», то для України це занадто дорога справа. Як з економічної, так і з технологічної точки зору більш ефективною є технологія холодного ресайклінгу.

Холодний ресайклінг – це унікальна прогресивна технологія відновлення дорожніх одягів нежорсткого типу, що стрімко розвивається протягом останніх 30 років завдяки працям видатних вчених: Адоряні К., Алієв А.М., Бахрах Г.С., Білай Л.В., Гезенцвей Л.Б., Гоглідзе В.М., Говоруха О.В., Головка С.К., Горелишев Н.В., Горліна Г.С., Золотарьов В.А., Коган Г.Б., Корольов І.В., Копинець І.В., Ладигін Б.І., Михайлов В.В., Петрович В.В., Прусенко Є.Д., Ребіндер П.А., Сасько М.Ф., Сюньї Г.К., Тимофеев А.А., Усманов К.Х., Файнберг Е.С., Шипицин В.В., які займались створенням нових машин і механізмів, удосконаленням технології відновлення, видів в'язучих речовин і добавок.

Проте, на жаль, незначна увага була приділена удосконаленню методики розрахунку на міцність та визначенню напружено-деформованого стану (НДС) існуючих пошкоджених та відновлених за технологією холодного ресайклінгу дорожніх одягів нежорсткого типу. Це залишається актуальним напрямом наукових досліджень.

При здійсненні технології відновлення дорожніх одягів нежорсткого типу за методом холодного ресайклінгу не завжди оптимально призначається глибина ресайклінгу. При реконструкції автомобільних доріг в Україні цю глибину часто призначають або конструктивно, виходячи з існуючого досвіду, не виконуючи розрахунків на міцність, або виконуючи ці розрахунки за методикою, що наведена в нормах [1], яка має цілий ряд недоліків [2, 3]. Такий підхід є недосконалим. Тому постає завдання розробити методологію з визначення оптимальної глибини ресайклінгу. Це, на думку автора, можливо здійснити на основі порівняльного аналізу розв'язків, рекомендованих нормами [1] та отриманих за допомогою моментної схеми методу скінченних елементів. В даній статті лише проаналізовані розв'язки,

які отримані за допомогою програмного комплексу CREDO РАДОН.

Актуальність роботи.

Найважливішим критерієм оцінки якості дорожнього одягу нежорсткого типу є його несуча здатність. Дорожні одяги нежорсткого типу, які запроєктовані в Україні на навантаження 60 кН і 100 кН, не витримують його і швидко руйнуються. Дорожники постійно борються з цією проблемою винаходячи все нові і нові матеріали для дорожніх одягів, удосконалюючи існуючі технології їх ремонту, реконструкції та методи розрахунку на міцність.

Найважливішим етапом перед здійсненням технології холодного ресайклінгу є розрахунок на міцність та визначення НДС дорожнього одягу, що підлягає реконструкції. Призначення оптимальної глибини ресайклінгу і, як наслідок, оптимальної конструкції відновленого дорожнього одягу, яка відповідатиме усім критеріям міцності, є не лише важливою задачею теорії пружності, а й має велике народногосподарське значення. Тому визначення та аналіз НДС конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу до і після виконання технології холодного ресайклінгу є вкрай важливою і актуальною задачею.

Викладення основного матеріалу дослідження. Дослідження НДС існуючих пошкоджених (рис.1, табл. 1) [5] та відновлених за технологією холодного ресайклінгу конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу виконувались на трьох ділянках траси Київ – Ковель, а саме: КМ 297+600 – 302+600, КМ 337+400 – 340+000, 340+000 – 343+400.

Холодний ресайклінг на цих трьох ділянках автомобільної дороги виконувався із застосуванням комбінованого в'язучого: цемент - 3,0%; бітумна емульсія - 1,5%. Розрахункове навантаження становило - 100 кН, розрахунковий тиск – 0,6 МПа.

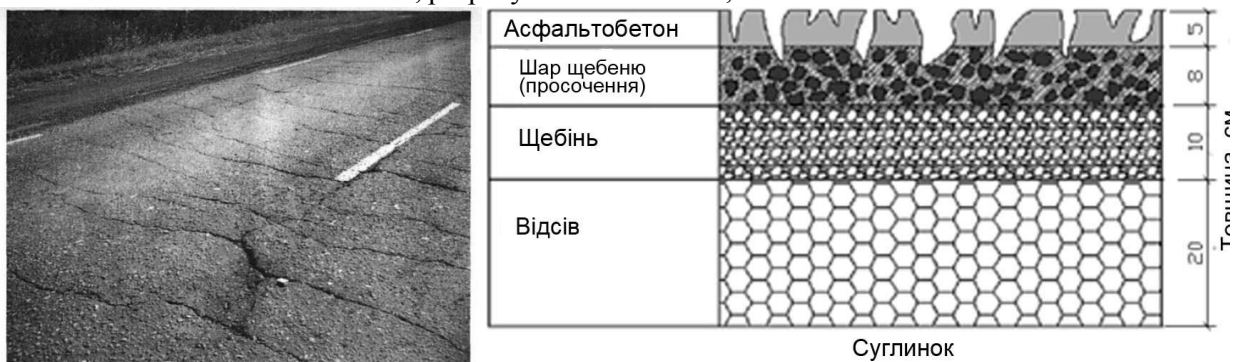


Рис. 1 Конструкції пошкоджених дорожніх одягів нежорсткого типу на ділянці км 297+600 – км 302+600 автомобільної дороги Київ – Ковель перед застосуванням технології відновлення холодного ресайклінгу

Конструкція дорожнього одягу із шаром ресайклінгу представлена в табл. 2.

Розрахунки на міцність як пошкоджених, так і відновлених за технологією холодного ресайклінгу дорожніх одягів нежорсткого типу на ділянках автомобільної дороги Київ-Ковель виконувались у ПК CREDO РАДОН. Програма CREDO РАДОН виконує автоматизовані розрахунки дорожніх одягів жорсткого і нежорсткого типу за нормами ВБН В.2.3.-218-186-2004. Концепція програми побудована на використанні методів сучасної теорії пружності в застосуванні до розрахунків на міцність дорожніх одягів. Основні розрахунки, що виконуються у програмі:

- розрахунок за критерієм пружного прогину;
- розрахунок за критерієм відповідності опору матеріалів монолітних конструктивних шарів на виникаючі в них розтягуючі напруження від багатократного короточасного динамічного навантаження;
- розрахунок за критерієм відповідності зсувостійкості матеріалів конструктивних шарів і ґрунту робочого шару на дотичні напруження, які виникають в них під дією багатократних короточасних навантажень.

Результати розрахунку на міцність пошкоджених дорожніх одягів на ділянці КМ 297+600 - КМ 300+600 показали, що існуюча пошкоджена конструкція дорожнього одягу нежорсткого типу не задовольняє такому критерію міцності як зсувостійкість.

Проведені розрахунки на міцність дорожнього одягу з шаром ресайклінгу (табл. 2, рис. 2)

показали, що конструкція дорожнього одягу нежорсткого типу після виконання відновлювальних Конструкції існуючого пошкодженого дорожнього одягу на автомобільній дорозі Київ-Ковель

Таблиця 1.

КМ +	Конструктивний шар	Матеріал	Товщина, см
297+600 – 302+600	Покриття	Асфальтобетон	5
	Основа	Шар щебеню (просочення)	8
	Додаткова основа	Щебінь	10
		Бруківка	-
		Відсів	20
Грунт земляного полотна	Суглинок	-	
337+400 – 340+000	Покриття	Асфальтобетон	8
	Основа	Шар щебеню	12
	Додаткова основа	Відсів	10
	Грунт земляного полотна	Суглинок	-
340+000 – 343+400	Покриття	Асфальтобетон	5
	Основа	Шар щебеню (просочення)	8
	Додаткова основа	Шар щебеню	12
		Відсів	10
	Грунт земляного полотна	Суглинок	-

Конструкція дорожнього одягу з шаром ресайклінгу на автомобільній дорозі Київ – Ковель км 297+600 – 302+600 та км 337+400 – 343+400

Таблиця 2.

Номер шару	Найменування матеріалу шару	Товщина шару, см
1	Щільний дрібнозернистий гарячий асфальтобетон на полімербітумному в'язучому	5
2	Щільний крупнозернистий гарячий асфальтобетон на бітумі марки (1) БНД 60/90	6
3	Ресайклірована органо-мінеральна суміш	13/21-15/23
4	Існуючий дорожній одяг	

Примітка: В чисельнику наведена глибина фрезерування, в знаменнику орієнтовна товщина шару з урахуванням додавання кам'яного матеріалу.

робіт також не задовольняє критерію зсувостійкості. Особливо це стосується конструктивного шару - відсів. Тому, щоб надалі уникнути помилок при призначенні глибини відновлювальних робіт на дорожніх покриттях нежорсткого типу з шарами відсіву, необхідно виконувати ресайклінг на всю товщину цього шару.

Так, зі збільшенням глибини ресайклінгу збільшується і вартість реконструкції, проте при призначенні глибини ресайклінгу варто, перш за все, враховувати міцність дорожнього покриття. Розрахунки на міцність проводилися при трьох значеннях глибини ресайклінгу: 13, 14 і 15 см, при цьому товщина шару ресайклірованої органо- мінеральної суміші становила відповідно: 21, 22 і 23 см. Модуль загальної деформації шару ресайклінгу приймався - $E=800$ МПа. Графіки досліджень представлені на рис. 3 – 5.

При виконанні розрахунків приведена до легкового автомобіля середньодобова інтенсивність руху транспортних засобів, яка становила 3000 авт./добу [5], замінялася мінімальним потрібним модулем пружності зі значенням $E=225$ МПа, що дає можливість виконати розрахунки на міцність дорожніх одягів нежорсткого типу з більш критичними умовами.

Розрахунок на міцність конструкції існуючого пошкодженого дорожнього одягу нежорсткого типу показав наступні результати:

- розрахункове напруження розтягу при згині у шарі щільного гарячого асфальтобетону на бітумі БНД 60/90 (Тип А, Марка І) дорівнює 2,235 МПа (допустиме – 2,554 МПа);
- активне розрахункове напруження зсуву у шарі відсіву становить 0,027 МПа (допустиме – 0,006 МПа);
- активне розрахункове напруження зсуву у шарі ґрунту земляного полотна становить 0,019 МПа (допустиме – 0,008 МПа).

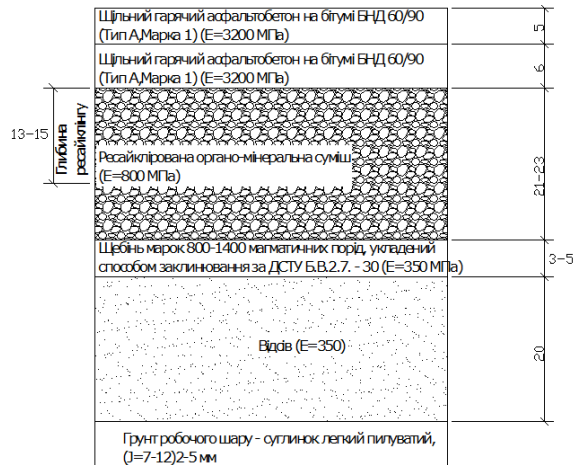


Рис. 2. Конструкція відновленого дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу на ділянці км 297+700 – км 302+400

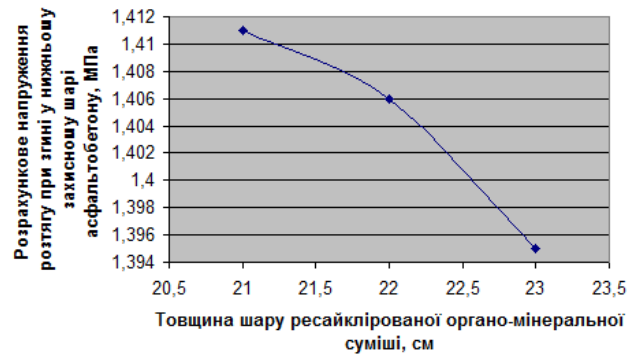


Рис. 3. Залежність розрахункового напруження розтягу у нижньому захисному шарі асфальтобетону від товщини шару ресайклірованої органо-мінеральної суміші при $E=800$ МПа

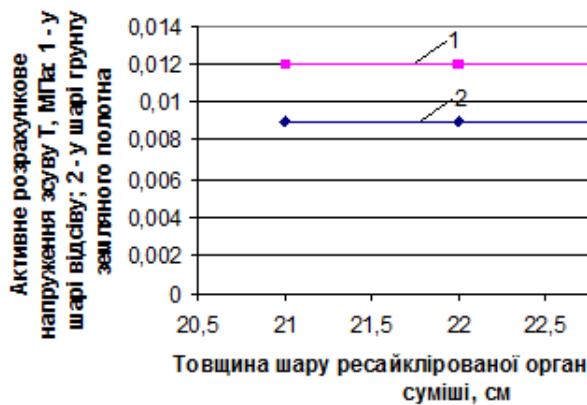


Рис. 4. Залежність активного розрахункового напруження зсуву від товщини шару ресайклірованої органо-мінеральної суміші: 1 – у шарі відсіву; 2 – у шарі ґрунту земляного полотна

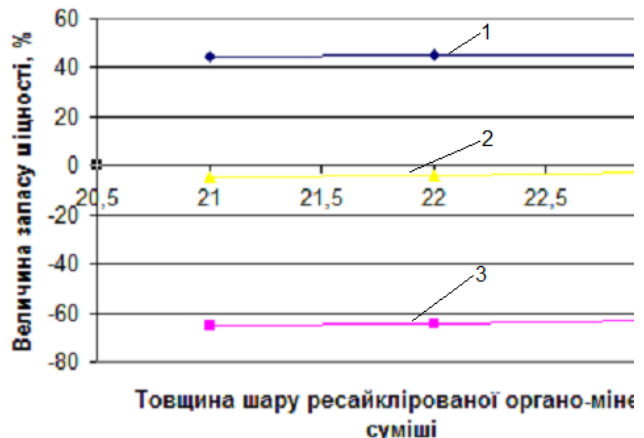


Рис. 5. Залежність величини запасу міцності від товщини шару ресайклірованої органо-мінеральної суміші (1 – запас міцності за напруженням розтягу при згині у нижньому захисному шарі асфальтобетону; 2 – запас міцності за напруженням зсуву у шарі ґрунту земляного полотна; 3 – запас міцності за напруженням зсуву у шарі відсіву)

З графіка (рис.3), бачимо, що зі збільшенням глибини ресайклінгу і, як наслідок, товщини шару ресайклірованої органо-мінеральної суміші, зменшується розрахункове напруження розтягу при згині у нижньому захисному шарі асфальтобетону. Це напруження особливо стрімко зменшується зі збільшенням глибини ресайклінгу від 14 (22) до 15 (23) см. Тому можна припустити, що для будь-якої конструкції пошкодженого дорожнього одягу, відновлення якої планується здійснювати за технологією холодного ресайклінгу, існує відрізок стрімкого зменшення величини розрахункового напруження розтягу при згині при незначному збільшенні глибини ресайклінгу. Якщо стрімкість цього відрізка спадає зі збільшенням товщини шару ресайклірованої органо-мінеральної суміші, то не має сенсу призначати більшу глибину ресайклінгу.

З рис. 4 видно, що глибина ресайклінгу практично не впливає на значення активного розрахункового напруження зсуву як у шарі відсіву, так і у шарі ґрунту земляного полотна. Так

само глибина ресайклінгу лише незначною мірою впливає на величину запасу міцності як при розтягу на згин, так і при зсуві у шарі відсіву та ґрунту земляного полотна (див. рис.5). На жаль, розрахунки показали, що величина запасу міцності за напруженнями зсуву як у шарі відсіву, так і в шарі ґрунту земляного полотна є від'ємною. Це, звичайно, дуже погано. Величина запасу міцності за умови збільшення глибини ресайклінгу при розрахунках на зсув у шарі ґрунту земляного полотна хоч і не дуже стрімко, але зменшується (від -4,43 % при глибині ресайклінгу 13 (21) см до -2,92 % при глибині ресайклінгу 15 (23) см) і прямує до нуля. Проте у шарі відсіву (тощина – 20 см) запаси міцності при розрахунках на зсув мають дуже великі значення з від'ємним знаком. Тому у випадках, де присутній відсів, необхідно виконувати ресайклінг на всю товщину шару відсіву, що становитиме близько 35 см. Сучасні ресайклери фірми Wirtgen дають можливість досягти глибини ресайклінгу близько 50 см. Так, можливо такий захід буде з економічної точки зору недоцільним. Проте, виконавши ресайклінг на всю товщину шару відсіву, можна з упевненістю сказати, що така відновлена конструкція задовольнятиме критерію розрахунку на зсув.

Особливий інтерес становить поведінка відновленої за технологією холодного ресайклінгу конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу при різних значеннях розрахункового навантаження на вісь. Тому автором були виконані такі розрахунки при глибини ресайклінгу дорожніх одягів на - 12, 13, 14, 15 см, що відповідає товщинам шару ресайкльованої органо-мінеральної суміші - 20, 21, 22, 23 см. Розрахунки виконувалися при дії навантажень на вісь: $Q_1=100$ кН, $Q_2=110$ кН, $Q_3=115$ кН, $Q_4=130$ кН і значенні модуля загальної деформації шару ресайклінгу - $E=900$ МПа.

На рис. 6 наведений графік залежності розрахункового напруження розтягу при згині у нижньому захисному шарі асфальтобетону від товщини шару ресайкльованої органо-мінеральної суміші при різних значеннях розрахункового навантаження на вісь. Аналізуючи цей графік, встановлюємо, що зі збільшенням глибини ресайклінгу розрахункове напруження розтягу при згині у нижньому захисному шарі асфальтобетону поступово спадає. Зі збільшенням значення глибини ресайклінгу розрахункове напруження розтягу при згині спадає стрімкіше.

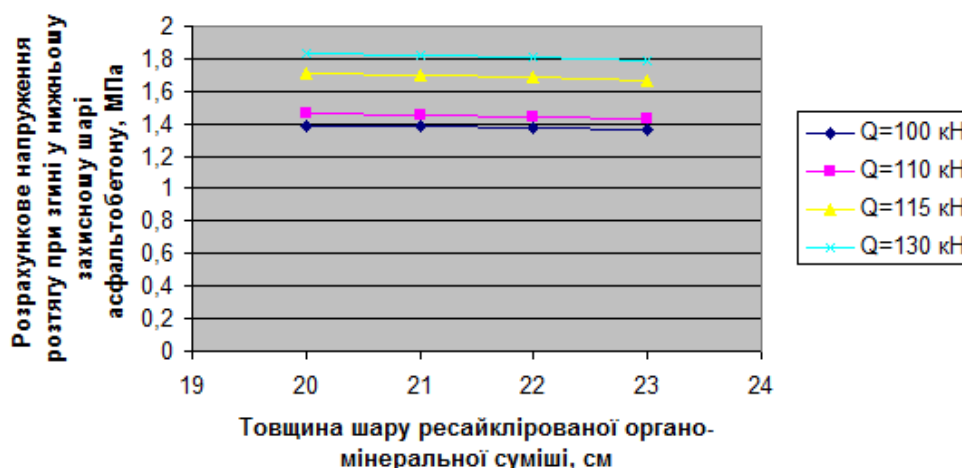


Рис. 6. Залежність розрахункового напруження розтягу у нижньому захисному шарі асфальтобетону від товщини шару ресайкльованої органо-мінеральної суміші при різних значеннях навантаження на вісь

З рис. 7 видно, що розрахункове напруження розтягу при згині різко збільшується при незначному збільшенні осьового навантаження (від 110 до 115 кН). При подальшому збільшенні навантаження стрімкість розрахункового напруження розтягу при згині різко зменшується. Це дає підстави зробити висновок, що при поступовому збільшенні розрахункового навантаження є ділянка різкого збільшення розрахункового напруження розтягу при згині у нижньому захисному шарі асфальтобетону.

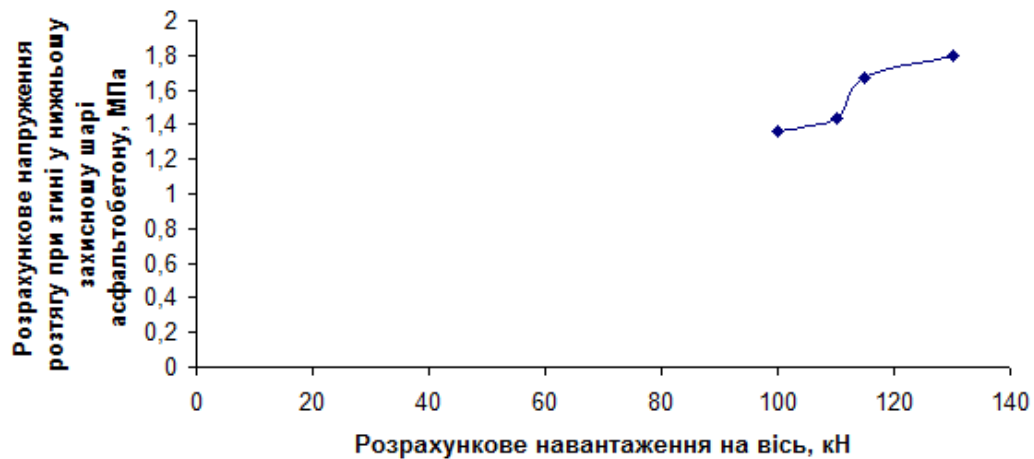


Рис. 7. Залежність величини розрахункового напруження розтягу при згині у нижньому захисному шарі асфальтобетону від розрахункового навантаження на вісь (глибина ресайклінгу – 15 см)

Висновки

При реконструкції автомобільної дороги найбільш ефективними є технології, які несуть найменші витрати. Саме до таких належить холодний ресайклінг – прогресивна на сьогоднішній час технологія відновлення дорожніх одягів нежорсткого типу.

Розвитком технології холодного ресайклінгу займалися багато вчених. Проте, незначна увага була приділена удосконаленню методики розрахунку на міцність та визначення НДС дорожніх одягів нежорсткого типу з використанням технології холодного ресайклінгу. Тому автор пропонує більш обґрунтовано підійти до вивчення цього етапу, зокрема призначення глибини ресайклінгу. Задля цього були виконані розрахунки на міцність існуючих пошкоджених та відновлених конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу з використанням ПК «CREDO РАДОН» на ділянках автомобільної дороги Київ - Ковель.

На жаль, розрахунки показали, що величина запасу міцності за напруженнями зсуву як у шарі відсіву, так і в шарі ґрунту земляного полотна є від'ємною після виконання холодного ресайклінгу.

Було виявлено, що зі збільшенням глибини ресайклінгу і, як наслідок, товщини шару ресайкльованої органо-мінеральної суміші, зменшується розрахункове напруження розтягу при згині у нижньому захисному шарі асфальтобетону.

Список літературних джерел

1. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3. – 218 – 186 – 2004. К.: Укравтодор, 2004. – 176 с.
2. Богомолів В.О., Жданюк В.К., Богомолів С.В. Щодо необхідності розробки нової методики розрахунку напружено-деформованого стану дорожнього одягу // Автошляховик України. Науково-виробничий журнал. – 2011. - №1. – С.23 – 26.
3. Дубик О.М. Аналіз методів розрахунку на міцність дорожніх одягів нежорсткого типу при застосуванні технології холодного ресайклінгу // Проблеми розвитку міського середовища. – Київ: НАУ, 2014 - №1 (11). – С. 465 – 474.
4. Холодний ресайклінг. Руководство по применению. Wirtgen GmbH, 2006. – 271 с.
5. Технологічний регламент проведення ремонту дорожніх конструкцій з використанням методу холодного ресайклінгу на дорозі Київ – Ковель км 297+600 – 302+600 та км 337+400 – 343+400 // Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна ДерждорНДІ. – Київ, ДерждорНДІ, 2005. – 32 с.