УДК 625.7/.8

# ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ДОБАВОК В ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ

**Гончаренко В.В.,** *канд. техн. наук, завідувач відділу нежорстких дорожніх одягів*
**Ларін Д.А.,** *молодший науковий співробітник відділу нежорстких дорожніх одягів*
**Єремейчук А.Д.,** *молодший науковий співробітник відділу нежорстких дорожніх одягів*

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

Актуальність застосування технології холодного ресайклінгу та використання фрезерованих укріплених (стабілізованих) сумішей обумовлено значними обсягами дорожньо-будівельних робіт, які збільшуються з кожним роком, і можливістю повторного використання дорожньо-будівельних матеріалів з шарів існуючої дорожньої конструкції.

В основі технології холодного ресайклінгу покладено принцип укріплення та стабілізації фрезерованих сумішей, що призводить до зміни властивостей матеріалів з існуючих шарів дорожнього одягу різного складу і перетворення їх в монолітний міцний морозостійкий конструктивний шар дорожнього одягу ВБН В.2.3-218-545 [1].

Дана технологія дозволяє практично уникнути проникнення вологи скрізь шар укріпленої основи дорожнього одягу до матеріалів земляного полотна, в результаті чого вологість робочого шару земляного полотна завжди буває менше, ніж при використанні традиційних щебеневих основ на дренувальному піщаному шарі.

Відповідно до чинного ВБН В.2.3-218-545:2009 «Укріплення та стабілізація шарів дорожнього одягу за методом холодного ресайклінгу» для укріплення фрезерованого матеріалу у якості в’яжучого застосовують мінеральні в’яжучі (цемент, вапно, активні або високоактивні шлаки), органічні в’яжучі (бітумні емульсії, бітуми нафтові дорожні рідкі, бітуми нафтові дорожні в’язкі) або комплексне в’яжуче (мінеральне та органічне в’яжуче).

Останнім часом, крім традиційних мінеральних та органічних в’яжучих для укріплення ґрунтів застосовують полімерні стабілізатори, які в малих дозах позитивно впливають на властивості будівельних матеріалів за рахунок активізації фізико-хімічних процесів при формуванні структури композитного матеріалу. Тому в даній роботі було проведено дослідження можливості застосування полімерного стабілізатора «Nanoterrasoil» (NTS) у якості компоненту комплексного в’яжучого разом з цементом для укріплення фрезерованого матеріалу при застосуванні технології холодного ресайклінгу.

Метою роботи є теоретичне та експериментальне обґрунтування можливості застосування полімерного стабілізатора NTS в технології холодного ресайклінгу шляхом встановлення закономірностей формування структури укріпленого фрезерованого матеріалу залежно від різної кількості цементу та полімерного стабілізатора.

Полімерний стабілізатор NTS відноситься до полімерних емульсій та складається з суміші латексу і целюлози, розчинених у воді, і є нейтральною по відношенню до навколишнього середовища та нешкідливою при виконанні робіт з метою зміцнення або стабілізації матеріалів. В таблиці 1 наведено основні характеристики полімерного стабілізатора NTS.

**Таблиця 1** – Основні характеристики полімерного стабілізатора «Nanoterrasoil»

| Назва показника | Значення показника |
|---|---|
| Зовнішній вигляд | В'язка рідина |
| Колір | Білий |
| Запах | Слабкий специфічний |
| Густина, г/см$^3$ | Від 1,00 до 1,10 |
| Значення pH при 25 °C | Від 7,0 до 11,0 |
| В'язкість при 25 °C | Від 30 до 40 |

Ефект стабілізації обумовлено розпадом емульсії - випаровуванням води і твердінням полімеру. Розпад емульсії відбувається тоді, коли окремі її краплинки, які знаходяться у зваженому стані у водяній фазі, з'єднуються одна з одною. При цьому формуються достатньо міцні водостійкі структури. Це відбувається, коли частинки емульсії «змочують» поверхню часток кам'яного матеріалу і полімер осідає на них. Час розпаду емульсії і твердіння полімеру залежить від температури і вологості повітря, а також від вмісту дрібнодисперсної складової в суміші, яка активно адсорбує воду з емульсії.

Для встановлення фізико-механічних властивостей фрезерованого матеріалу, укріпленого різною кількістю цементу та полімерною добавкою NTS, було розроблено програму лабораторних досліджень фрезерованих сумішей, укріплених та стабілізованих з використанням комплексного в'яжучого за технологією холодного ресайклінгу.

Перелік показників фізико-механічних характеристик для дослідження властивостей фрезерованого матеріалу, укріпленого та стабілізованого добавкою NTS та цементом, наведено в табл. 2.

**Таблиця 2** – Показники фізико-механічних характеристик фрезерованого матеріалу, укріпленого та стабілізованого з використанням комплексного в'яжучого на основі NTS та цементу, прийняті до дослідження

| Назва показника | Метод випробувань |
|---|---|
| Середня густина ущільненого матеріалу, ρ, г/см$^3$; | СОУ 42.1-37641918-127 [2] |
| Водонасичення, W,%; | |
| Границя міцності при стиску переформованих зразків, R, МПа, при 20°C, 50°C | |
| Границя міцності на розтяг при розколюванні, $R_p$, МПа, при 0°C | СОУ 42.1-37641918-127 |
| Водостійкість, Кв | |
| Водостійкість при тривалому водонасичені, $k_{вд}$. | |
| Морозостійкість, ΔR (20 циклів) | |

Залежно від максимального розміру зерен, що містяться у вихідній фрезерованій крихті, визначали вимоги до зернового складу фрезерованого укріпленого матеріалу. Зерновий склад МФУ повинен відповідати вимогам ВБН В.2.3-218-545.

На основі результатів дослідження зернового складу фрезерованого матеріалу встановлювали необхідність додавання нового мінерального матеріалу для оптимізації зернового складу МФУ з використанням комплексного в'яжучого.

Підбір зернового складу фрезерованого укріпленого матеріалу здійснювали відповідно до вимог ВБН В.2.3-218-545 з різною кількістю цементу 4,0%, 6,0% та 8,0% для визначення оптимального вмісту цементу з урахуванням особливостей виконання робіт за методом холодного ресайклінгу. З цією метою було виготовлено зразки з фрезерованої суміші з різною кількістю в'яжучого.

Суміш із фрезерованого матеріалу змішували з гранулометричною добавкою і цементом, після чого отриману суміш зволожували. У зволожену суміш додавали полімерну добавку «Nanoterrasoil» і перемішували до отримання однорідної за кольором маси у лабораторних змішувачах. Встановлена кількість води у суміші може бути зменшена за рахунок води, яка міститься у полімерній емульсії «Nanoterrasoil».

За оптимальну вологість приймали вологість, при якій щільність зразків, ущільнених під навантаженням 15 МПа, є максимальною.

Із сумішей МФУ оптимального складу виготовляли по шість зразків кожного виду суміші шляхом ущільнення у стальних циліндричних формах з двома вкладишами, діаметром 10 см і висотою 15 см відповідно до найбільшої крупності зерен.

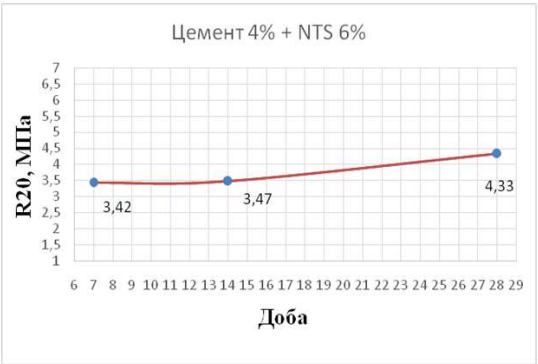
Зразки формували і ущільнювали протягом 3 хв. під навантаженням 15 МПа (для сумішей, укріплених неорганічними в'яжучими).

Виготовлені зразки зберігали в ексикаторах над водою.

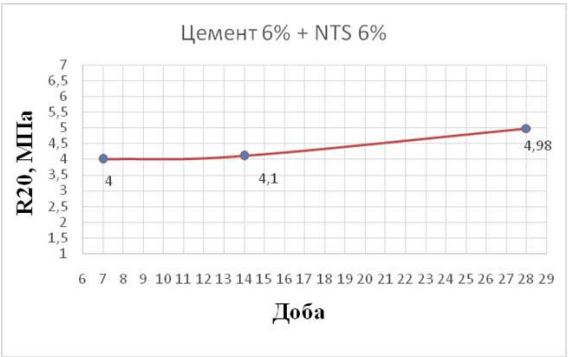
Зразки із МФУ з портландцементом зберігали 28 діб. Після цього, визначали їх фізико-механічні показники згідно з ВБН Б В.2.3-218-545. Зразки також випробовували після семи діб зберігання для отримання орієнтовних значень показників границі міцності при стиску в більш ранішні терміни твердіння. При цьому показники границі міцності після семи діб твердіння повинні становити не менше ніж 80% значень величин міцності для зразків, що тверділи 28 діб.

Відповідно до прийнятої програми експериментальних досліджень було заформовано серію зразків з фрезерованої суміші з різною кількістю цементу. Кількість полімерної добавки приймали в залежності від кількості цементу з розрахунку 6% від маси цементу.

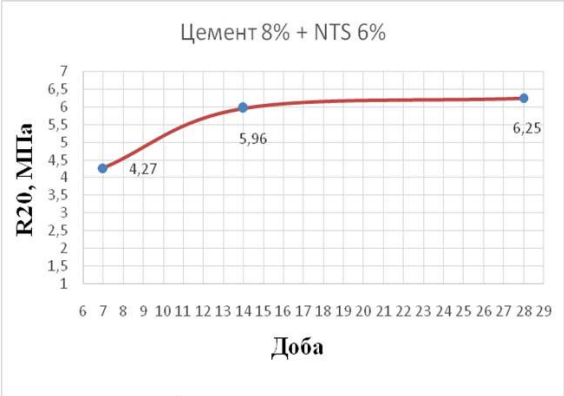
На першому етапі випробувань встановлювали залежність границі міцності при стиску при 20°С водонасичених зразків з фрезерованої укріпленої та стабілізованої суміші, укріпленої та стабілізованої від часу твердіння при різному вмісті цементу. Границю міцності визначали на 7, 14 та 28 добу твердіння (рис. 1 а, б, в, г).




а)




б)




в)

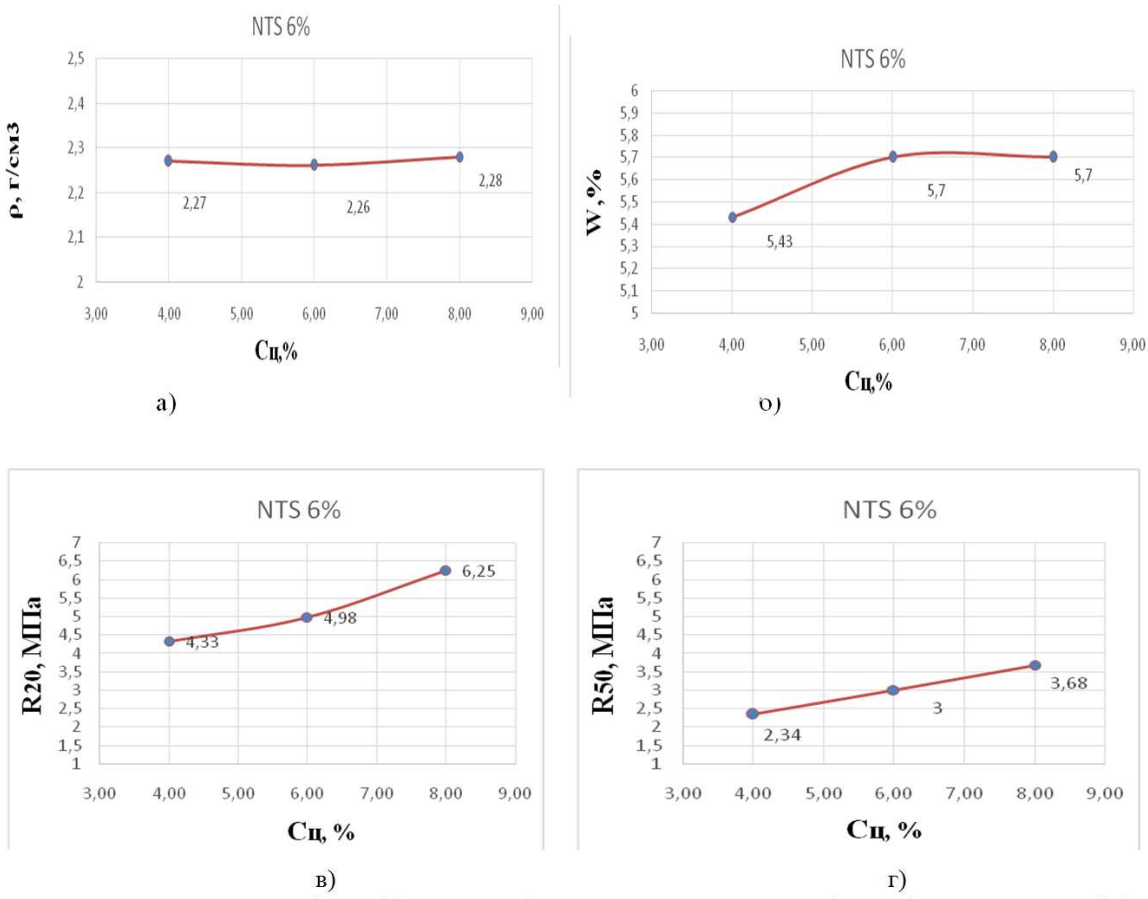
г)

*а) вміст цементу 4%; б) вміст цементу 6%; в) вміст цементу 8%;*
*г) вміст цементу 8% без полімерної добавки NTS*

*Рисунок 1 - Залежність границі міцності при стиску зразків укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші при 20 °С від часу твердіння при різному вмісті цементу.*

Із наведених залежностей видно, що у зразків із укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші з полімерною добавкою NTS границя міцності на 28 добу має більші значення у порівнянні зі зразками без добавки (рис. 1 б, г). Таким чином, можна відзначити, що введення полімерної добавки до складу суміші сприяє зростанню її міцності.

На другому етапі випробовувань визначали вплив кількості доданого цементу на фізико-механічні показники зразків з укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші, витриманих протягом 28 діб (рис. 2 а, б, в, г).




*а) щільність; б) водонасичення; в) границя міцності при стиску при 20 °С; г) границя міцності при стиску при 50 °С*

*Рисунок 2 – Залежність фізико-механічних властивостей зразків укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші від вмісту цементу.*

В результаті аналізу залежностей на рис. 2 встановлено, що кількість цементу в межах визначених концентрацій не впливає на щільність зразків, витриманих протягом 28 діб зразків укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші, але впливає на показники водонасичення та границі міцності при стиску.

Водонасичення зразків зростає зі збільшенням концентрації цементу від 4% до 6% (рис. 2 б). При подальшому збільшенні кількості цементу зростання показнику водонасичення припиняється.

У той же час, границя міцності при стиску при 20°С та 50°С зі збільшенням концентрації цементу збільшується (рис. 2 в, г). Однак, інтенсивність зростання міцності зразків істотно збільшується при концентрації цементу більш 6%. Основним критерієм визначення оптимальної кількості цементу в укріпленій і стабілізованій фрезерованій суміші є тріщиностійкість. Опосередковано про тріщиностійкість можна судити за величиною міцності при стиску. Тому, можна припустити, що концентрація цементу не повинна перевищувати 6%.

Більш інформативним показником деформаційних властивостей матеріалу при від'ємних температурах є границя міцності на розтягування при розколі при 0°С.

Результати випробувань витриманих протягом 28 діб зразків укріпленої і стабілізованої фрезерованої суміші з добавкою NTS наведено на рис. 3.

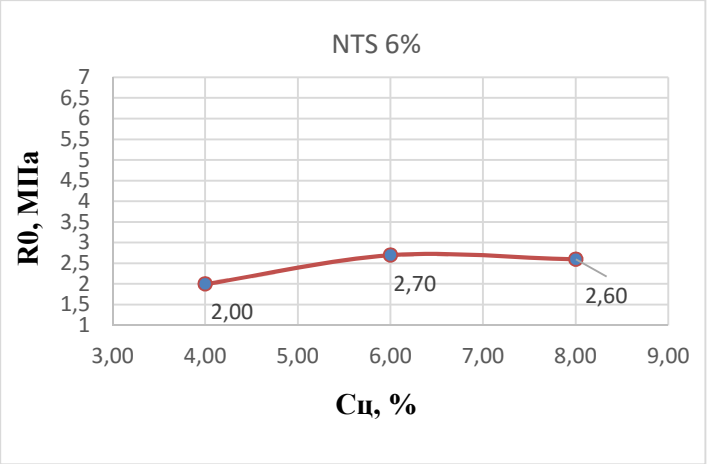



*Рисунок 3 - Залежність границі міцності на розтягування при розколі при 0 °С від вмісту цементу*

Із залежності видно, що міцність стабілізованих і витриманих протягом 28 діб зразків укріпленої і стабілізованої фрезерованої суміші з полімерною добавкою більш інтенсивно зростає при збільшені цементу від 4% до 6%. З подальшим збільшенням кількості цементу міцність зразків не збільшується. Можна припустити, що зі збільшенням вмісту полімерної добавки за абсолютним значенням більш чітко проявляється пластифікувальний ефект. І, замість очікуваного зростання міцності на розтягування при розколі, спостерігається зворотній ефект.

Менша міцність на розтягування при розколі свідчить при менші напруження, що виникають в матеріалі при його навантаженні при від'ємних температурах, що опосередковано може свідчити про його більшу температурну тріщиностійкість.

Фізико-механічні показники укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші з різною кількістю цементу наведено в табл. 3.

**Таблиця 3** – Результати випробувань укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші з різною кількістю цементу з додаванням полімерної добавки «Nanoterrasoil»

| № зразків | Склад | Дата виготов-лення | $R_{20}$, МПа після 7 діб | $R_{20}$, МПа після 14 діб | $R_0$, МПа після 28 діб | $R_{20}$, МПа після 28 діб | $R_{50}$, МПа після 28 діб | Щіль-ність, ρ, г/см$^3$ | Водона-сичення, W,% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1-18** | Фрезерований матеріал – 70%; ЩПС (С-7) – 30% **Цемент – 4,0%**; NTS – 6% (від маси цементу) Вода – 100% (від маси Ц+NTS) | 10.08.2016 | №1 – 3,16 №2 – 3,68 | №3 – 2,21 №4 – 3,74 №5 – 4,45 | №10 – 2,00 №11 – 2,00 | №16 – 4,16 №17 – 4,42 №18 – 4,42 | №9 – 2,30 №13 – 2,13 №14 – 2,34 №15 – 2,60 | №6 – 2,26 №7 – 2,24 №8 – 2,30 | №6 – 5,5 №7 – 6,0 №8 – 4,8 |
| **Середнє значення** | | | **3,42** | **3,47** | **2,00** | **4,33** | **2,34** | **2,27** | **5,43** |
| **19-36** | Фрезерований матеріал – 70%; ЩПС (С-7) – 30% **Цемент – 6,0%**; NTS – 6% (від маси цементу) Вода – 80% (від маси Ц+NTS) | 11.08.2016 | №19 – 5,16 №20 – 3,37 №21 – 3,47 | №22 – 4,66 №23 – 3,90 №24 – 3,74 | №31 – 2,70 | №25 – 5,66 №26 – 4,82 №27 – 4,47 | №32 – 3,00 №33 – 2,90 №34 – 3,02 №36 – 3,20 | №28 – 2,28 №29 – 2,26 №30 – 2,25 | №28 – 5,9 №29 – 4,7 №30 – 6,5 |
| **Середнє значення** | | | **4,00** | **4,10** | **2,70** | **4,98** | **3,03** | **2,26** | **5,7** |
| **37-54** | Фрезерований матеріал – 70%; ЩПС (С-7) – 30% **Цемент – 8,0%;** NTS – 6% (від маси цементу) Вода – 80% (від маси Ц+NTS) | 12.08.2016 | №37 – 4,53 №38 – 4,00 | №40 – 5,79 №41 – 6,63 №42 – 5,47 | №39 – 3,10 №43 – 1,80 №44 – 2,80 №45 – 2,80 | №46 – 6,92 №47 – 5,24 №48 – 6,58 | №49 – 3,08 №50 – 4,05 №51 – 3,90 | №52 – 2,30 №53 – 2,26 №54 – 2,27 | №52 – 5,3 №53 – 6,0 №54 – 5,9 |
| **Середнє значення** | | | **4,27** | **5,96** | **2,60** | **6,25** | **3,68** | **2,28** | **5,7** |

**Висновки**

1. За результатами лабораторних досліджень зразків укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші, витриманих протягом 28 діб, встановлено, що міцність зразків з 4% цементу та 6% полімерної добавки від маси цементу, відповідає марці М 40 згідно з ВБН Б В.2.3-218-545. У той же час міцність фрезерованого матеріалу укріпленого цементом у тій же кількості 4% з додаванням бітумної емульсії, відповідає марці М 20 згідно з ВБН Б В.2.3-218-545.

2. Границя міцності при стиску при 50°С зразків з полімерною добавкою (2,45 МПа для М 20; 3,0 МПа для М 40) значно перевищує нормативне значення цього показника для фрезерованої суміші усіх марок, укріпленої цементом з додаванням бітумної емульсії (0,8 МПа для М 20; 1,0 МПа для М 40). Це свідчить про меншу схильність матеріалу з полімерною добавкою до накопичення залишкових пластичних деформацій при високих додатних температурах в порівнянні із сумішшю з бітумною емульсією .

3. При оцінці тріщиностійкості шляхом визначення границі міцності при розколі при 0°С встановлено, що вміст полімерної добавки при кількості цементу понад 6% призводить до зменшення міцності. Менша міцність на розтягування при розколі свідчить про менші напруження, що виникають в матеріалі при його навантаженні, що опосередковано може свідчити про його більшу температурну тріщиностійкість при низьких температурах за рахунок пластифікувального ефекту від введення добавки.

4. Водонасичення зразків укріпленої та стабілізованої фрезерованої суміші, що містять полімерну добавку після 28 діб твердіння, відповідає вимогам СОУ 45.2-00018112-061 для усіх марок органо-мінеральних матеріалів.

5. Динаміка зростання міцності протягом перших 7 діб незначна, що може свідчити про уповільнення процесів структуроутворення в матеріалі за рахунок пластифікувального ефекту від полімерної добавки. У той же час при 8% цементу інтенсивність набору міцності за перші 7 діб значно вища. При цьому при 8% цементу в суміш додається і більша кількість добавки за абсолютною величиною, що і могло призвести до зміни у динаміці набору міцності. Таким чином, можна припустити, що для збільшення інтенсивності набору міцності кількість полімерної добавки повинна бути збільшена. Це, в свою чергу, може сприяти зменшенню строків витримки матеріалу шару після холодного ресайклінгу та скоріше відкрити рух транспорту на ділянці.

6. Остаточний висновок щодо оптимальної кількості цементу можливий лише після проведення додаткових випробувань при різному відносному вмісті полімерної добавки.

7. Отримані експериментальні дані показують, що фрезерований матеріал, укріплений цементом з додаванням полімерної добавки «Nanoterrasoil» замість бітумної емульсії, може бути застосований за влаштуванні шару дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу.

8. Для підтвердження достовірності отриманих експериментальних даних і висновків щодо ефективності застосування полімерної добавки «Nanoterrasoil» у технології холодного ресайклінгу доцільним буде влаштування експериментальної ділянки з подальшими наглядом та дослідженнями роботи цього матеріалу в натурних умовах.

**Література**

1. ВБН В.2.3-218-545:2009 Укріплення та стабілізація шарів дорожнього одягу за методом холодного ресайклінгу
2. СОУ 42.1-37641918-127:2014 Матеріали органо-мінеральні дорожніх одягів, виготовлені методом холодного ресайклінгу. Методи випробувань
3. СОУ 45.2-00018112-061:2011 Суміші органо-мінеральні дорожні з фрезерованих матеріалів дорожніх одягів, виготовлені за методом холодного ресайклінгу. Технічні умови