

УДК 625.7

Ілляш С. І.¹, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>Мудриченко А. Я.¹, <https://orcid.org/0000-0001-9787-2523>Балашов І. О.¹, <https://orcid.org/0000-0003-0137-8008>Варицький Г. В.², <https://orcid.org/0000-0002-3960-5635>¹ Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна² ТОВ «ПВДЕНЬСПЕЦБУД», м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ АКРИЛОВОЇ КОПОЛІМЕРНОЇ ДОБАВКИ SOIL STABILIZATION PLUS ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ СУМІШЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ ТА ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ В ШАРАХ ОСНОВИ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація

Вступ. Відновлення мережі автомобільних доріг загального користування потребує комплексного підходу до прийняття ремонтних рішень. Зокрема, з цією метою широко використовується технологія холодного ресайклінгу, а саме, відновлення несної здатності основи проводиться шляхом улаштування шарів з матеріалу дорожнього, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу (далі — МДХР) згідно з [3] або шляхом улаштування шару із щебенево-піщаної суміші, укріпленої цементом або комплексним в'язучим (далі — ЩПС-20) згідно з [12].

Мета. Мета роботи полягала у дослідженні доцільності використання акрилової емульсії для приготування сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу та щебенево-піщаних сумішей оброблених цементом в шарах основи дорожнього одягу.

Матеріали і методи. Проведено експериментальні порівняльні випробування МДХР та ЩПС-20 з різним вмістом комплексного в'язучого.

Результати. Встановлено доцільність використання акрилової емульсії для приготування МДХР та ЩПС-20 в шарах основи дорожнього одягу. Надано рекомендації щодо технологічних параметрів приготування, транспортування, укладання та ущільнення таких сумішей.

Висновки. Проведені дослідження показали, що за фізико-механічними показниками МДХР та ЩПС-20 відповідають вимогам чинних нормативних документів України. Відзначено переваги використання.

Ключові слова: автомобільна дорога, акрилова емульсія, добавка, дорожній одяг, холодний ресайклінг.

Вступ

Працівниками ДП «ДерждорНДІ» виконувались дослідження щодо можливості використання акрилової емульсії, як складової комплексного в'язучого для приготування МДХР та ЩПС-20 в шарах основи дорожнього одягу.

Відповідно до [3] та [5] влаштування шару основи дорожнього одягу із МДХР виконується за технологією холодного ресайклінгу, яка може реалізовуватися двома методами — безпосередньо на дорозі (з використанням ресайклерів) та приготуванням сумішей в установці.

Метод холодного ресайклінгу безпосередньо на дорозі реалізовується шляхом застосування ресайклеру та включає наступні технологічні операції:

- фрезерування шарів існуючого дорожнього одягу ресайклером чи дорожньою фрезою (за необхідності);
- планування поверхні автогрейдером;

- розподілення нового кам'яного матеріалу та цементу;
- фрезерування та перемішування матеріалу з додаванням емульсії ресайклером;
- планування та профілювання поверхні шару автогрейдером;
- ущільнення суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу (далі — СХР)

відповідною ланкою котків.

- догляд за влаштованим шаром.

Влаштування шару СХР, при приготуванні суміші в установці включає наступні технологічні операції:

- фрезерування шарів існуючого дорожнього одягу дорожньою фрезою з навантаженням в автосамоскиди;
- транспортування фрезерованого матеріалу;
- приготування СХР в стаціонарних змішувальних установках примусової дії;
- транспортування та вивантаження СХР в приймальний бункер асфальтоукладача;
- укладання СХР асфальтоукладачем (щегенерозподілювачем, профілювальником, автогрейдером тощо);
- ущільнення шару СХР відповідною ланкою котків;
- догляд за влаштованим шаром.

При приготуванні СХР в установці, їх укладання відповідно до вищезазначених будівельних норм виконується асфальтоукладачами або автогрейдерами. Аналогічними механізмами виконується укладання і щебенево-піщаних сумішей, оброблених цементом згідно з [12].

Також при приготуванні СХР в установці та укладанні сумішей асфальтоукладачами, досягаються вищі показники рівності поверхні перед влаштуванням наступних асфальтобетонних шарів, що підвищує вірогідність забезпечення нормативних вимог щодо рівності дорожнього покриття.

Основна частина

Дослідження можливості використання акрилової емульсії, як складової комплексного в'язучого для приготування МДХР та ЩПС-20 в шарах основи дорожнього одягу було виконано в ДП «ДерждорНДІ». Ці дослідження передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та випробування таких сумішей.

При виконанні досліджень сумішей були проведені такі випробування:

- визначення складу фрезерованої суміші (зерновий склад та вміст бітуму) та встановлення відповідності її зернового складу вимогам **табл. 1** [3];
- підбір зернового складу суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу, який відповідає вимогам до зернового складу суміші з максимальним розміром зерен 20 мм;
- випробування МДХР з додаванням 3,5 % цементу від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 6.4 [4];
- випробування МДХР з додаванням 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії ЕКШ-60 від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 6.4 [4];
- випробування МДХР з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 % акрилової емульсії від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 6.4 [4];
- випробування МДХР з додаванням 3,5 % цементу та 1,2 % акрилової емульсії від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 6.4 [4];
- визначення зернового складу щебенево-піщаної суміші та встановлення відповідності її зернового складу вимогам таблиці 3 [12];
- підбір зернового складу щебенево-піщаної суміші, який відповідає вимогам до зернового складу суміші з максимальним розміром зерен 20 мм;
- випробування укріплених щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 4 [11];

- випробування укріплених щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії ЕКШ-60 від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 4 [11];
- випробування укріплених щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 % акрилової емульсії від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 4 [11];
- випробування укріплених щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу та 1,2 % акрилової емульсії від маси суміші та витриманих відповідно до вимог розділу 4 [11].

Таблиця 1

Результати визначення гранулометричного складу мінеральної частини фрезерованої суміші

Вміст за масою в фрезерованій суміші, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм									
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Суміш фрезерована	90,9	75,4	63,5	49,3	40	30,0	21	13,1	7,6
Вимоги ДСТУ 8976	100-90	80-60	65-35	50-20	40-15	30-10	25-5	20-3	≤15
Відповідність до вимог ДСТУ 8976	+	+	+	-	+	+	+	+	+

За результатами випробувань гранулометричного складу суміші фрезерованої відповідає гранулометричному складу СХР згідно з [3]. Вміст бітуму в суміші фрезерованій становив 6,3 % від маси мінеральних матеріалів.

Таблиця 2

Результати визначення гранулометричного складу щебенево-піщаної суміші

Вміст за масою в фрезерованій суміші, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм									
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
ЩПС-20	94,4	68,0	49,2	21,8	16,8	13,0	8,0	3,6	1,4

За результатами випробувань гранулометричного складу щебенево-піщаної суміші, зерновий склад відповідає гранулометричному складу ЩПС С9 згідно з [6].

Таблиця 3

Результати визначення гранулометричного СХР

	Вміст за масою, % мінеральних зерен, на ситі з розміром отворів, мм								
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Часткові залишки ФС, 50 %	4,6	7,8	6,0	3,6	8,2	4,9	4,6	4,0	2,8
Часткові залишки С9, 50 %	2,8	13,2	9,4	13,7	2,5	1,9	2,5	2,2	1,1
Всього, часткові залишки, %	22,4	19,4	12,2	8,6	9,0	5,8	6,2	5,4	3,3
Всього, повні залишки, %	26,2	45,6	57,8	66,4	75,4	81,1	87,4	92,8	96,1
Вимоги ДСТУ 8976	0-10	20-40	35-60	50-80	60-85	70-90	75-95	80-97	85-100
Відповідність вимогам [1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Зерновий склад СХР, який відповідає вимогам до зернового складу СХР з максимальним розміром зерен 20 мм згідно **табл. 1** [3].

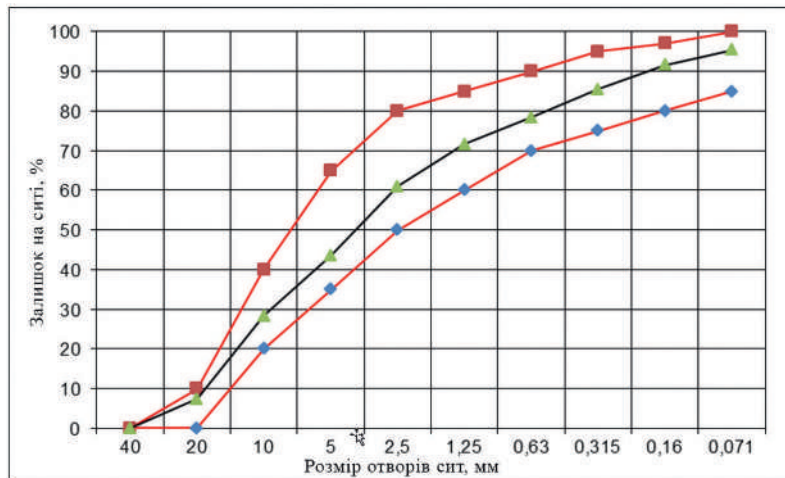


Рисунок 1 — Графік підбору зернового складу суміші, виготовленої за технологією холодного ресайклінгу

Таблиця 4

Результати визначення гранулометричного складу ЩПС 20

	Вміст за масою, % мінеральних зерен, на ситі з розміром отворів, мм								
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
ЩПС-20	5,6	32,0	50,8	72,2	77,2	81,0	86,0	90,4	92,6
Вимоги [3]	0-10	20-40	35-60	50-80	60-85	70-90	75-95	80-97	85-98
Відповідність вимогам [3]	+	+	+	+	+	+	+	+	+

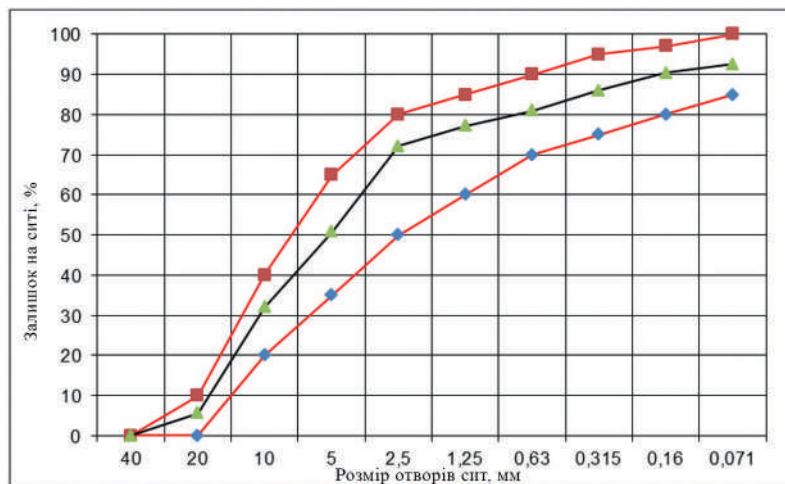


Рисунок 2 — Графік підбору зернового складу щебенево-піщаної суміші

Приготування зразків з сумішей, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу здійснювали згідно з [4] з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операцій.

Таблиця 5

Результати випробувань МДХР

Ч. ч.	Назва показника	Результати випробування МДХР, що складається з			
		ФМ+ЩПС + 3,5 % цементу	ФМ+ЩПС + 3,5 % цементу + 4 % бітумної емульсії	ФМ+ЩПС + 3,5 % цементу + 0,8 % акрилової емульсії	ФМ+ЩПС + 3,5 % цементу + 1,2 акрилової емульсії
1	Середня густина, г/см ³	2,26	2,28	2,31	2,32
2	Водонасичення, % за об'ємом	3,17	2,28	1,45	1,23
3	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	3,84	3,85	3,31	3,02
4	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	1,92	1,78	1,44	1,38
5	Розтяг при розколюванні, МПа	2,65	3,44	2,69	2,80
6	Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,67	0,80	0,95	0,96
7	Морозостійкість	0,61	0,68	0,72	0,74

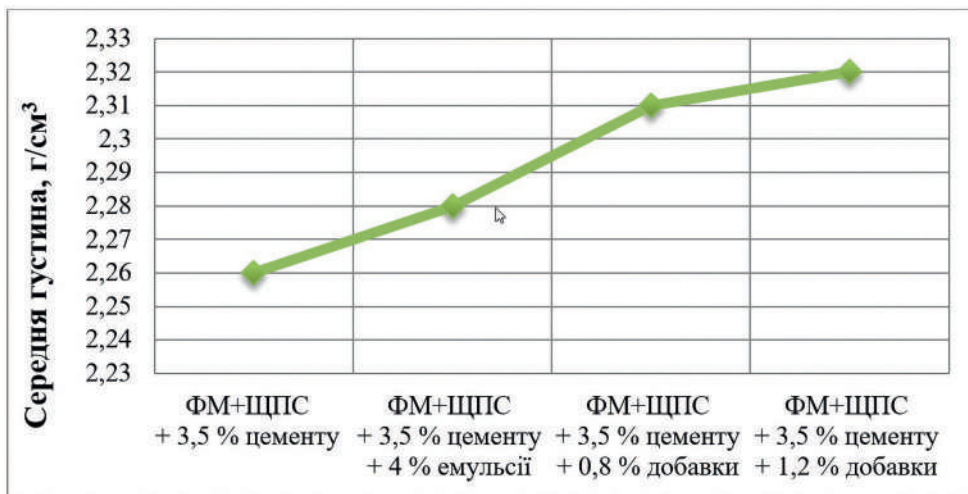


Рисунок 3 — Графік залежності середньої густини зразків МДХР від їх складу

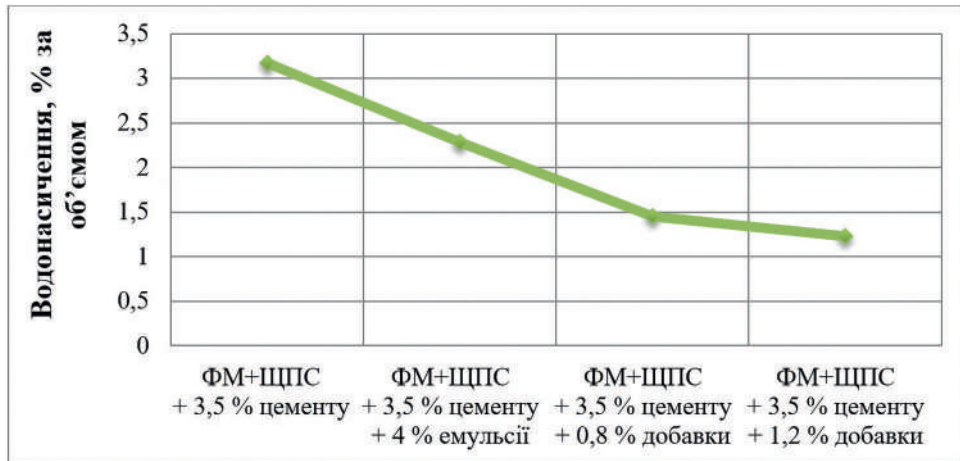


Рисунок 4 — Графік залежності водонасичення зразків МДХР від їх складу

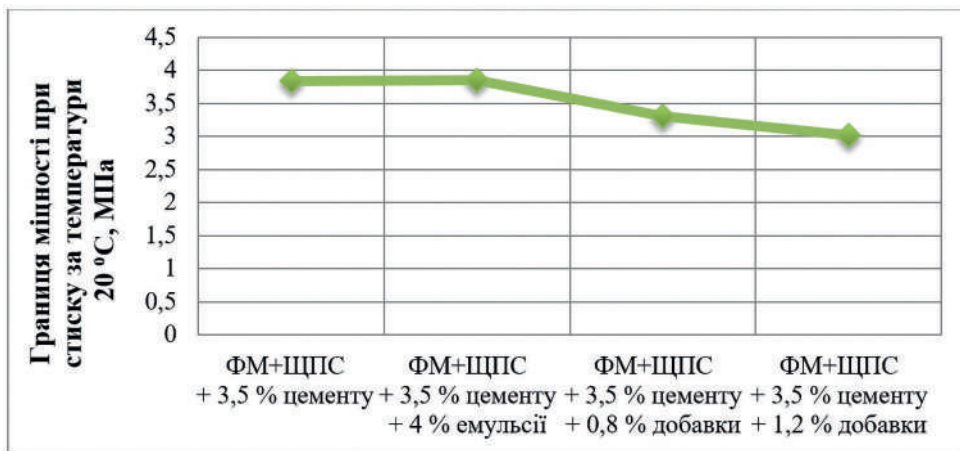


Рисунок 5 — Графік залежності границі міцності при стиску за температури 20 °С, МПа зразків МДХР від їх складу

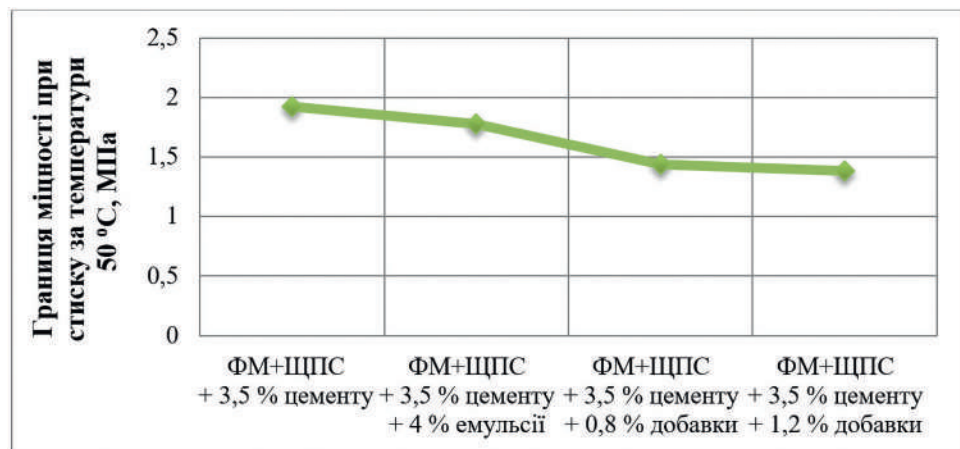


Рисунок 6 — Графік залежності границі міцності при стиску за температури 50 °С, МПа зразків МДХР від їх складу



Рисунок 7 — Графік залежності границя міцності на розтяг при розкорлюванні, МПа зразків МДХР від їх складу

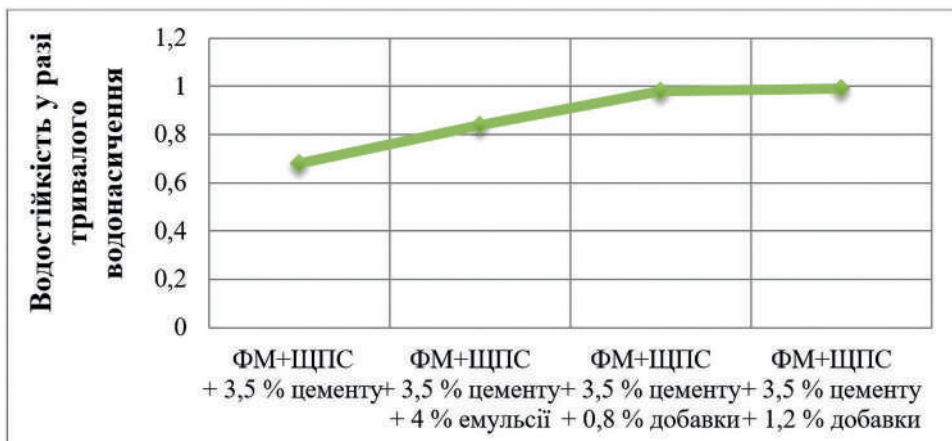


Рисунок 8 — Графік залежності водостійкості при тривалому водонасиченні зразків МДХР від їх складу

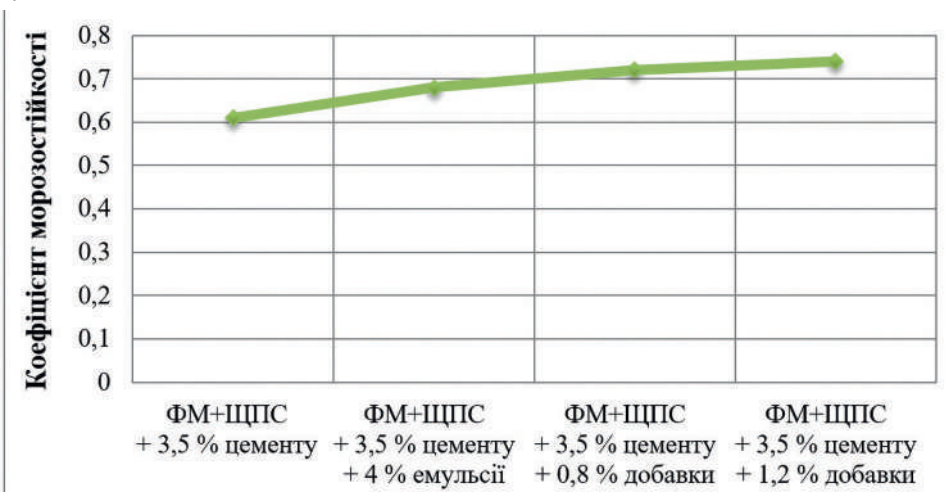


Рисунок 9 — Графік залежності коефіцієнта морозостійкості зразків МДХР від їх складу

Таблиця 6

Результати випробувань ЩПС-20

Ч. ч.	Назва показника	Результати випробування ЩПС-20, що складається з			
		ЩПС + 3,5 % цементу	ЩПС + 3,5 % цементу + 4 % бітумної емульсії	ЩПС + 3,5 % цементу + 0,8 % акрилової емульсії	ЩПС + 3,5 % цементу + 1,2 акрилової емульсії
1	Середня густина, г/см ³	2,25	2,28	2,31	2,32
2	Водонасичення, % за об'ємом	8,58	6,09	4,55	4,15
3	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	3,69	3,14	3,16	3,15
4	Розтяг при розколюванні, МПа	2,62	2,88	2,73	2,70
5	Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,68	0,84	0,98	0,99
6	Морозостійкість	0,55	0,65	0,70	0,73

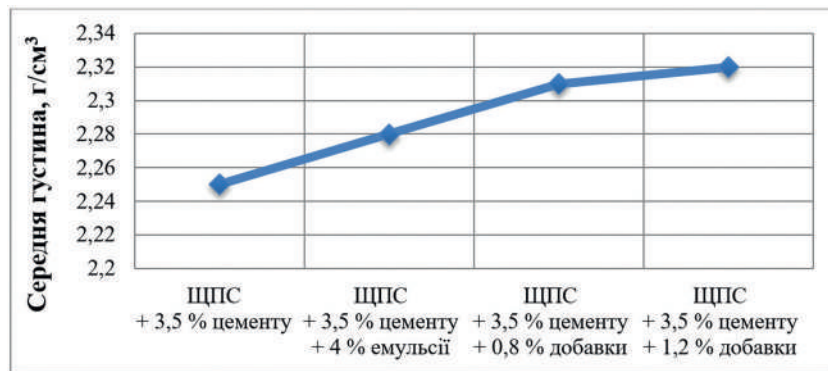


Рисунок 10 — Графік залежності середньої густини зразків ЩПС-20 від їх складу

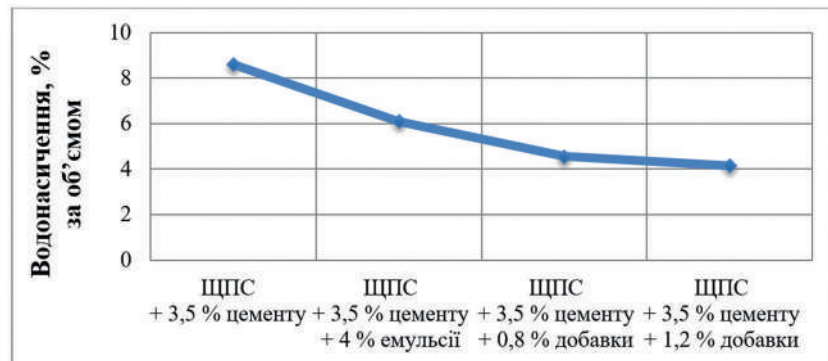


Рисунок 11 — Графік залежності водонасичення зразків ЩПС-20 від їх складу

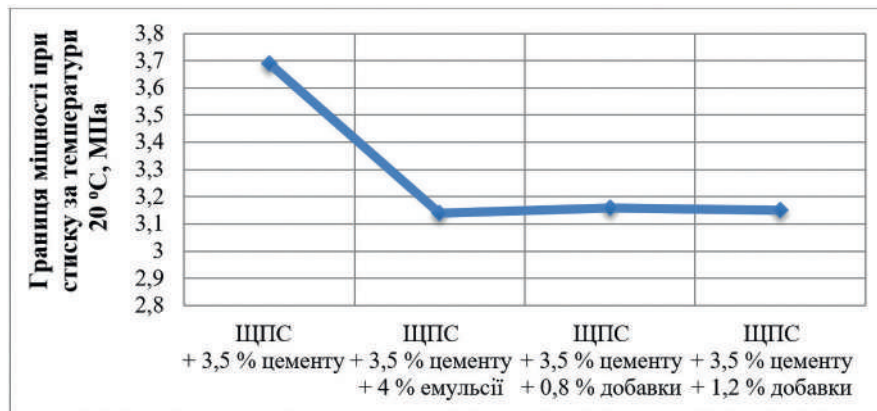


Рисунок 12 — Графік залежності границя міцності при стиску за температури 20 °C, МПа зразків ЩПС-20 від їх складу

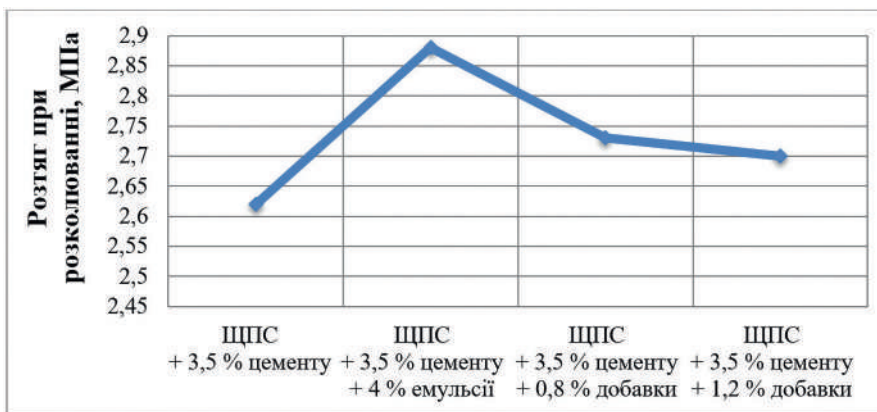


Рисунок 13 — Графік залежності границя міцності при стиску за температури 50 °C, МПа зразків ЩПС-20 від їх складу

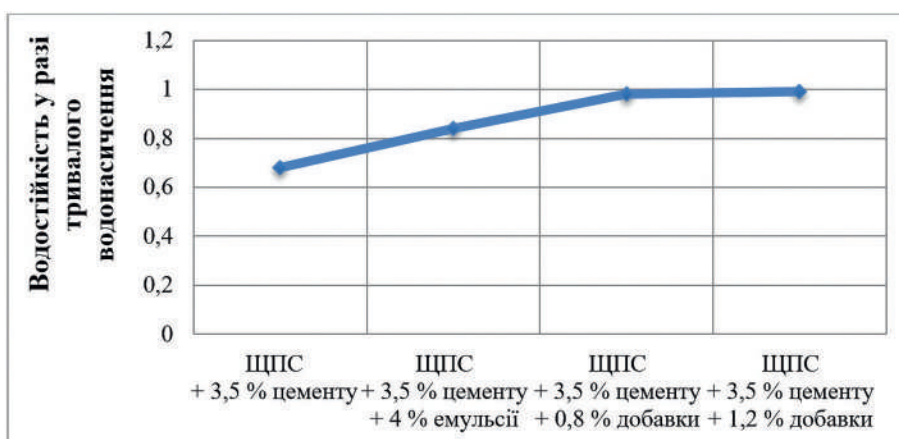


Рисунок 14 — Графік залежності водостійкості при тривалому водонасиченні зразків ЩПС-20 від їх складу

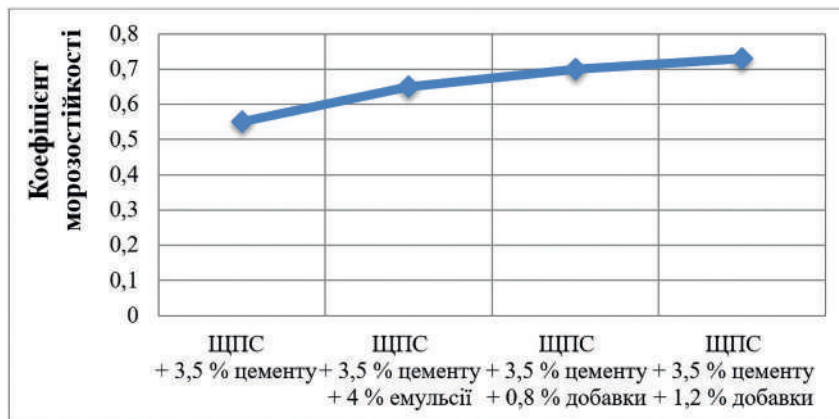


Рисунок 15 — Графік залежності коефіцієнта морозостійкості зразків ЩПС-20 від їх складу

Висновки

Проведені дослідження використання акрилової емульсії для приготування МДХР та ЩПС-20 в шарах основи дорожнього одягу дають змогу зробити такі висновки:

1. Результати випробувань ущільнених СХР з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії, від маси суміші відповідають вимогам марки М 20 табл. 4 [1].

2. Використання акрилової емульсії дає змогу збільшити щільність суміші та зменшити водонасичення порівняно з показниками, що отримані після укріплення суміші 3,5 % цементу або 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії. Щільність ущільненої суміші є вищою від суміші, укріпленої мінеральним в'язучим або комплексним в'язучим з використанням бітумної емульсії.

3. Показники границі міцності при стиску за температури 20 °С та 50 °С ущільненої СХР з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії відповідають вимогам табл. 4 [1].

4. Показники границі міцності на розтяг при розколюванні ущільненої СХР з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії більші порівняно із цими показниками сумішей із додаванням 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії.

5. При введенні добавки має місце зростання водостійкості при тривалому водонасиченні та морозостійкості ущільнених сумішей.

6. Раціональний вміст добавки залежить від властивостей суміші фрезерованої та вихідних кам'яних матеріалів. У кожному конкретному випадку необхідний вміст добавки та цементу необхідно визначати в лабораторії за результатами випробування зразків ущільнених сумішей. Необхідна кількість доданих нових мінеральних матеріалів залежить від складу суміші фрезерованої, складу доданих мінеральних матеріалів та типу суміші.

7. Оптимальна кількість води повинна становити від 2,0 % до 3,5 % за масою залежно від вологості фрезерованого матеріалу і щебенево-піщаної суміші та місцевих умов.

8. При виконанні робіт з відновлення несної здатності основи дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 % акрилової емульсії доцільно керуватися вимогами [3].

9. Результати випробувань щебенево-піщаних сумішей ЩПС-20 з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії, від маси суміші відповідають вимогам марки М 20 табл. 7 [12].

10. Використання акрилової емульсії дає змогу збільшити щільність суміші ЩПС-20 та зменшити водонасичення порівняно з показниками, що отримані після укріплення суміші 3,5 % цементу або 3,5 % цементу та 4 % бітумної емульсії. Щільність ущільненої суміші є більшою від суміші, укріпленої мінеральним в'язучим або комплексним в'язучим з використанням бітумної емульсії.

11. Показники границі міцності при стиску ущільненої суміші, з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії відповідає вимогам табл. 7 [12].

12. Показники границі міцності на розтяг при розколюванні ущільненої суміші з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 %, 1,2 % акрилової емульсії більші від сумішей із додаванням 3,5 % цементу.

13. При введенні добавки має місце зростання водостійкості при тривалому водонасиченні та морозостійкості ущільнених сумішей.

14. Раціональний вміст добавки залежить від властивостей вихідних кам'яних матеріалів. У кожному конкретному випадку необхідний вміст добавки та цементу необхідно визначати в лабораторії за результатами випробування зразків ущільнених сумішей.

15. Оптимальна кількість води повинна становити від 2,0 % до 3,5 % за масою залежно від вологості щебенево-піщаної суміші та місцевих умов.

16. При виконанні робіт з улаштування шарів дорожнього одягу з щебенево-піщаних сумішей з додаванням 3,5 % цементу та 0,8 % акрилової емульсії доцільно керуватися вимогами [12].

Список літератури

1. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ. 2015. 115 с. (Інформація та документація).
2. ДСТУ 4044-2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні вимоги. (Інформація та документація). Київ. 2019. 15 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ 8976:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Технічні умови. Київ. 2020. 17 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 8977:2020 Матеріали дорожні, виготовлені за технологією холодного ресайклінгу. Методи випробування. Київ. 2020. 19 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ 8978:2020 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу за технологією холодного ресайклінгу. Київ. 2020. 21 с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ Б В.2.7-30:2013 Матеріали нерудні для щебених і гравійних основ та покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні умови. Київ. 2013. 13 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Київ. 2010. 15 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. Київ. 1998. 23 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. Київ. 1998. 21 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови. Київ. 2013. 17 с. (Інформація та документація).
11. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ. 2009. 15 с. (Інформація та документація).
12. ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів. Київ. 2016. 13 с. (Інформація та документація).

References

1. DBN B.2.3-4:2015 Roads. Part I. Designing. Part II. Construction. Kyiv 2015. 115 p. (Information and documents).
2. DSTU 4044-2019 Oil paving viscous bitumen. Technical requirements. (Information and documentation). Kyiv 2019. 15 p.
3. DSTU 8976:2020 Road materials made by cold recycling technology. Specifications. Kyiv 2020. 17 p. (Information and documentation).

4. DSTU 8977:2020 Road materials made by cold recycling technology. Test methods. Kyiv. 2020. 19 p. (Information and documentation).
5. DSTU 8978:2020 Guidelines for the arrangement of layers of pavement on the technology of cold recycling. Kyiv. 2020. 21 p. (Information and documentation)
6. DSTU B V.2.7-30:2013 Non-metallic materials for crushed stone and gravel foundations and road pavements. General specification. Kyiv. 2013. 13 p. (Information and documentation).
7. DSTU B V.2.7-46:2010 Construction materials. General construction cements. Specifications. Kyiv. 2010. 15 p. (Information and documentation).
8. DSTU B V.2.7-71-98 Crushed stone and gravel from solid rocks and industrial wastes for construction works. Methods of physical and mechanical tests. Kyiv. 1998. 23 p. (Information and documentation).
9. DSTU B V.2.7-75-98 Construction materials. Solid natural crushed stone and gravel for construction materials, products, structures and works. Specifications. Kyiv. 1998. 21 p. (Information and documentation).
10. DSTU B V.2.7-129:2013 Paving bitumen emulsions. Specifications. Kyiv. 2013. 17 p. (Information and documentation).
11. DSTU B V.2.7-214:2009 Construction materials. Concrete. Methods for determination of strength by control samples. Kyiv. 2009. 15 p. (Information and documentation).
12. DSTU-N B V.2.3-39:2016 Guidelines for the arrangement of layers of pavement made of stone materials. Kyiv. 2016. 13 p. (Information and documentation).

Sergii Illiash¹, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>
Anatolii Mudrychenko¹, <https://orcid.org/0000-0001-9787-2523>
Ivan Balashov¹, <https://orcid.org/0000-0003-0137-8008>
Hennadii Varytskyi², <https://orcid.org/0000-0002-3960-5635>

¹ M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

² LLC PIVDENSPETSBUD, Kyiv, Ukraine

USE OF ACRYLIC COPOLYMER ADDITIVE SOIL STABILIZATION PLUS FOR PREPARATION OF MIXTURES MADE BY COLD RESYCLING TECHNOLOGY AND CRUSHED STONE-SAND MIXTURES IN PAVEMENT FOUNDATION LAYERS

Abstract

Introduction. Rehabilitation of public roads network requires a comprehensive recovery with strengthening of the bearing capacity of the pavement foundation. Rehabilitation of the foundation bearing capacity performed by arranging layers of road material made by cold recycling technology (hereinafter — CRRM) in accordance with [4] or by arranging a layer of crushed stone — sand mixture reinforced with cement or complex binder (hereinafter — CSSM 20) according to [13].

Purpose. The purpose of the work is to study the feasibility of using acrylic additives for the preparation of mixtures made by cold recycling technology and crushed stone-sand mixtures treated with cement in the layers of pavement foundation.

Materials and methods. Experimental comparative tests of CRRM and CSSM 20 with different content of complex binder were performed.

Results. Feasibility of acrylic additives use has been established (hereinafter — the additive) for the preparation of CRRM and CSSM 20 in the pavement foundation layers. Recommendations on technological parameters of preparation, transportation, laying and compaction of mentioned mixtures are given.

Conclusions. Performed researches have shown that according to physical and mechanical indicators CRRM and CSSM20 meet the requirements of the current normative documents of Ukraine. The advantages of use are noted.

Keywords: road, acrylic emulsion, additive, pavement, cold recycling.