

помилка оцінки. У даному випадку коефіцієнт кореляції практично дорівнює 1, що свідчить про найбільш точне наближення. Стандартна помилка завжди строго позитивна і має невелике чисельне значення, що свідчить про найбільш точне наближення кривої.

Слід відзначити той факт, що при тривалій дії постійного навантаження межа міцності всіх дослідних зразків-призм (як цілих, так і склеєних) менше ніж при короткочасному навантаженні. Крім того, випробовувані дослідні зразки протягом усього періоду дії навантаження мали мінімальні відхилення від середніх величин міцності і часу, які не перевищували 5%.

Таким чином, застосування сучасних комп'ютерних програм для статистичної обробки експериментальних даних дозволяє без проведення складних досліджень, з мінімальними витратами часу встановити величини тривалої міцності з використанням методу екстраполяції експериментальних даних.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ І МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНІВ НА ОСНОВІ ФРЕЗЕРОВАНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Жданюк В.К., *д-р техн. наук, проф.*, **Говоруха О.В.**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

61002, Україна, м.Харків, вул. Петровського, 25

E-mail: govorav@ukr.net

Для реалізації технології холодної регенерації старих асфальтобетонних покриттів з метою підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг необхідними і обов'язковими є дані про розрахункові характеристики бетонів, отриманих за даною технологією [1, 2]. Розрахункові характеристики необхідні для відповідних розрахунків, результати яких дають можливість оцінити напружено-деформований стан конструкцій дорожнього одягу і ряд критеріїв, які дозволяють визначити доцільність застосування зазначеної технології з точки зору забезпечення і підвищення довговічності.

Дослідження деформаційних і міцнісних характеристик бетонів на основі фрезерованого асфальтобетону виконували за методами, прийнятими для оцінки властивостей бетонів на основі органічних в'язучих [3, 4].

Для приготування холодних сумішей на основі фрезерованого асфальтобетону в якості в'язучих використовували емульсію бітумну катіонну повільнорозпадну, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-129:2006, та портландцемент марки 400, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-46-96. Для приготування холодної регенованої суміші з використанням цементу та комбінованого в'язучого застосовувалася вода згідно ГОСТ 2874-82. Фрезерований асфальтобетон застосовувався як мінеральна складова холодних регенованих сумішей.

Виготовлення зразків-балочок розміром 40×40×160 мм здійснювали в

лабораторних умовах при температурі 20 °С. Модуль пружності бетонів із фрезерованого асфальтобетону, отриманих за технологією холодного ресайклінгу, визначали за допомогою маятникового приладу ДерждорНДІ [3, 4].

Для визначення впливу концентрації і виду в'язучого, а також температури випробування на механічні властивості бетонів на основі фрезерованого асфальтобетону був застосований метод математичного планування експерименту [5]. Для складання рівнянь регресії використовувався повний двохфакторний план другого порядку з варіюванням чинників на трьох рівнях (-1; 0; +1).

Як варійовані чинники (табл. 1) були прийняті температура випробування (0 °С, 10 °С і 20 °С) і кількість бітумної емульсії у складі суміші (0 %, 2 % і 4 % за масою). Для кожного з варіантів в якості параметрів оптимізації, було прийнято динамічний модуль пружності ($E_{пр}$) і міцність на розтяг при згині ($R_{зг}$) (табл. 2).

Таблиця 1 – Значення варійованих факторів

Код фактора	Фізична сутність фактору	Розмірність	Інтервал варіювання	Рівні факторів		
				- 1	0	+ 1
X ₁	Температура випробування	°С	10	0	10	20
X ₂	Кількість бітумної емульсії	%	2	0	2	4

Таблиця 2 – Параметри оптимізації при проведенні експерименту

Код параметра оптимізації	Фізична сутність параметра оптимізації	Розмірність
Y ₁	Модуль пружності	МПа
Y ₂	Міцність на розтяг при згині	МПа

Експеримент проводився відповідно до матриці планування експерименту, представленої в табл. 3.

За допомогою механічного преса проводили випробовування зразків-балочок, на підставі чого було отримано залежності величини деформації від величини навантаження для бетонів з 5 % цементу і 0 %, 2 % і 4 % бітумної емульсії за температури 0, 10 і 20 °С (рис. 1-3) і визначено міцність на розтяг при згині. Після визначення руйнівного навантаження випробовували зразки-балочки на маятниковому приладі ДерждорНДІ для встановлення модуля пружності. На основі розрахунків отримано середні значення функцій відгуку, що позначені в табл. 3 як Y₁ та Y₂.

Таблиця 3 – Матриця планування експерименту (Т – температура випробування, Е – вміст бітумної емульсії)

Значення факторів					E _{пр} , МПа	R _{зг} , МПа		
В кодированих значеннях			В натуральних значеннях					
X ₁	X ₂	X ₁ '	X ₂ '	X ₁ *X ₂	Т	Е	Y ₁	Y ₂
-1	-1	1/3	1/3	1	0	0	1913	3,6
-1	0	1/3	-2/3	0	0	2	3400	4,8
-1	1	1/3	1/3	-1	0	4	2900	5,6
0	-1	-2/3	1/3	0	10	0	1782	2,6
0	0	-2/3	-2/3	0	10	2	2041	3,4
0	1	-2/3	1/3	0	10	4	1830	3,5
1	-1	1/3	1/3	-1	20	0	1585	1,7
1	0	1/3	-2/3	0	20	2	1453	2,1
1	1	1/3	1/3	1	20	4	1226	1,8

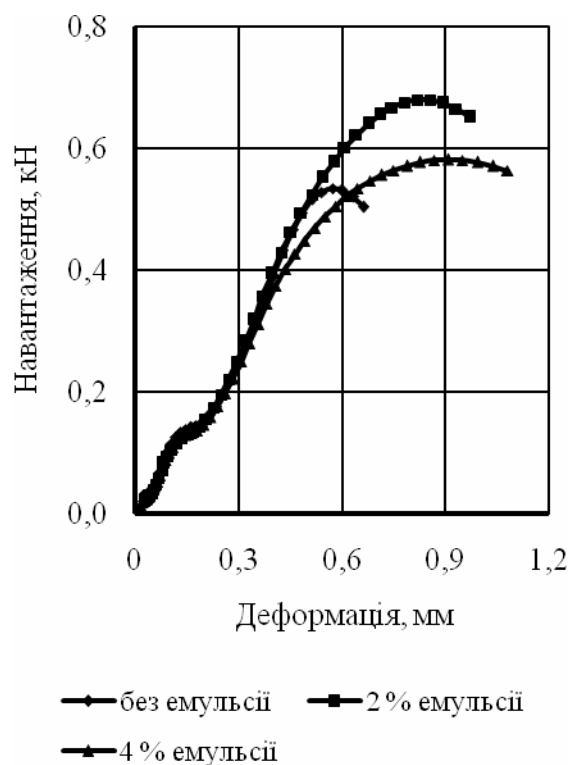


Рис. 1 – Залежність величини деформації від величини навантаження для бетонів з 5 % цементу і 0 %, 2 % і 4 % бітумної емульсії за температури 20 °С

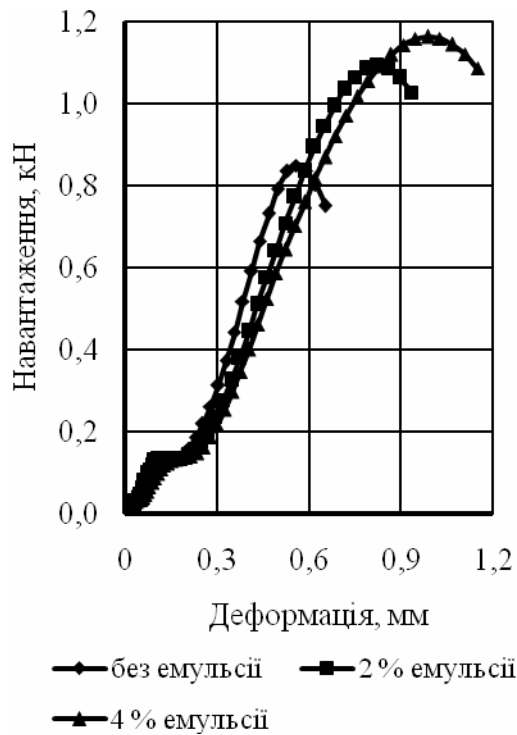


Рис. 2 – Залежність величини деформації від величини навантаження для бетонів з 5 % цементу і 0 %, 2 % і 4 % бітумної емульсії за температури 10 °С

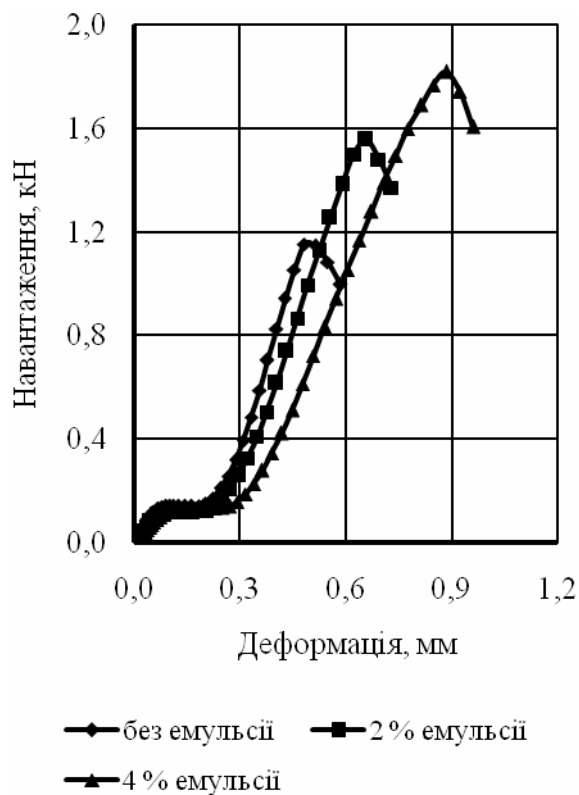


Рис. 3 – Залежність величини деформації від величини навантаження для бетонів з 5 % цементу і 0 %, 2 % і 4 % бітумної емульсії за температури 0 °С

За результатами моделювання отримані рівняння регресії для кодованих значень змінних:

$$Y_1 = 2168 - 658X_1 + 113X_2 + 195X_{12} - 425X_{22} - 336X_1X_2;$$
$$Y_2 = 3,36 - 1,39X_1 + 0,49X_2 + 0,11X_{12} - 0,32X_{22} - 0,46X_1X_2.$$

Перевірка моделей і експериментальних даних за критерієм Фішера показала, що моделі 2-го ступеня є адекватними.

Обробка даних двохфакторного експерименту була виконана за допомогою програмного забезпечення MATLAB. Побудовані поверхні функцій відгуку для експериментів із визначення модуля пружності та міцності на розтяг при згині залежно від температури випробування і процентного вмісту бітумної емульсії в суміші (рис. 4, 5).

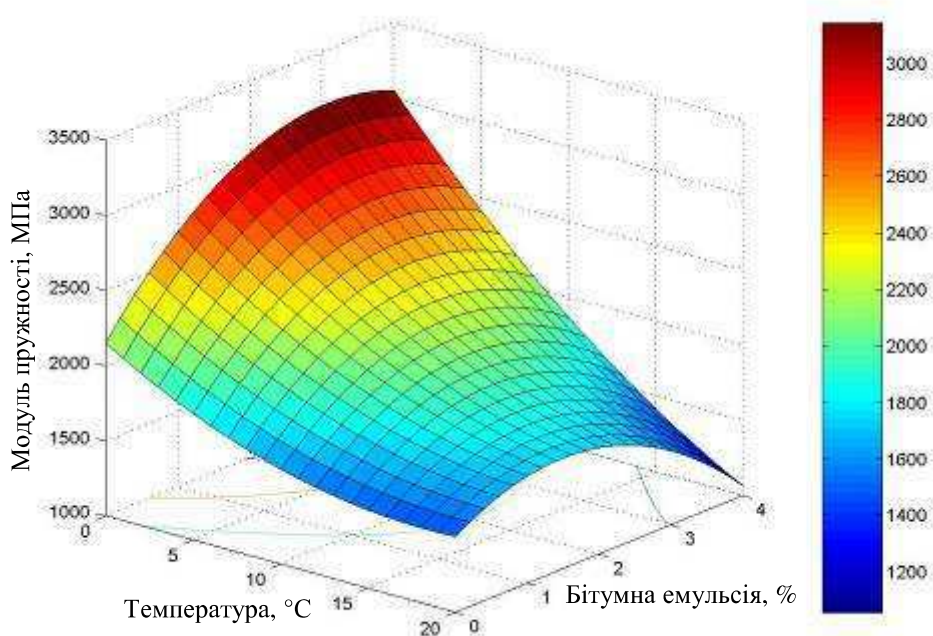


Рис. 4 – Характер функції відгуку для експериментальних значень модуля пружності бетонів залежно від температури випробування і концентрації бітумної емульсії

Функції відгуку модуля пружності бетонів характерна наявність екстремуму для досліджуваних концентрацій бітумної емульсії. Максимальні значення модуля пружності в інтервалі температур від 0 °C до 20 °C досягаються при концентрації бітумної емульсії від 3 % до 2 % відповідно. Аналогічний характер залежності спостерігається у функції відгуку границі міцності на розтяг при згині. Максимальні значення міцності на розтяг при згині в інтервалі температур від 0 °C до 20 °C досягаються при концентрації бітумної емульсії від 4 % до 2 % відповідно.

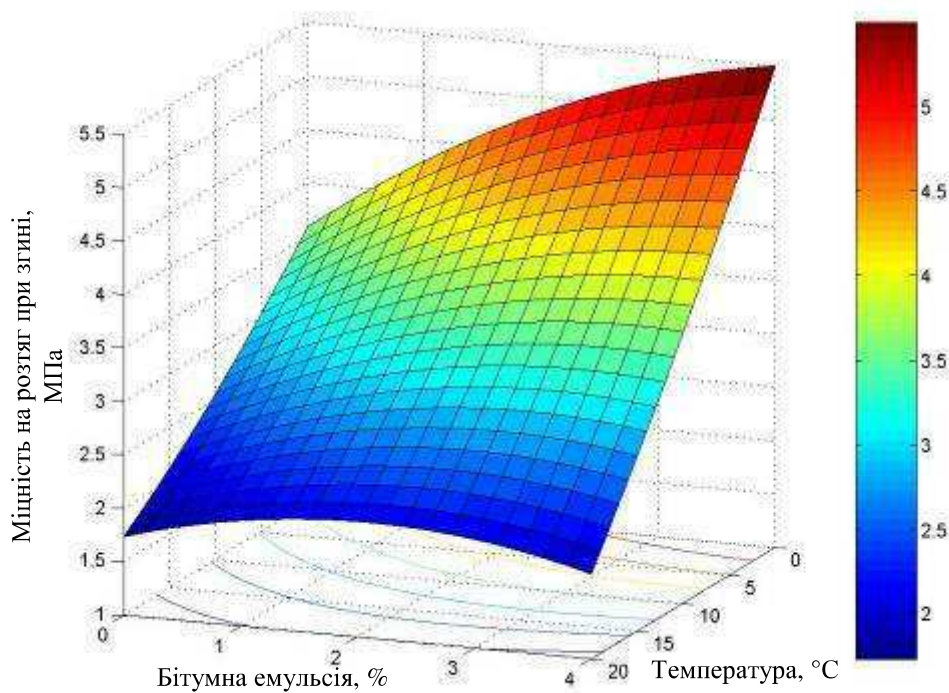


Рис. 5 – Характер функції відгуку для експериментальних значень міцності на розтяг при згині бетонів залежно від температури випробування і концентрації бітумної емульсії

Після визначення величин модуля пружності і міцності на розтяг при згині назначали розрахункові величини цих показників, які служать основними характеристиками матеріалів при проектуванні дорожніх одягів.

Згідно з [6], для переходу від лабораторних величин модуля пружності до розрахункових рекомендується формула $E^P = 0,1 \times E$, а для міцності на розтяг при згині, згідно з [7] – формула $R^P_{зг} = 0,15 \times R_{зг}$ (табл. 4).

Таблиця 4 – Розрахункові характеристики бетонів із холодних сумішей отриманих за технологією холодного ресайклінгу

Матеріал	Розрахункові характеристики	
	Модуль пружності, МПа	Міцність на розтяг при згині, МПа
1	2	3
Бетони із фрезерованих асфальтобетонів, укріплені цементом, при розрахунковій температурі, °С:		
0	1700-2000	0,4-0,6
10	1500-1800	0,3-0,4
20	1300-1600	0,3-0,4

1	2	3
Бетони із фрезерованих асфальтобетонів, укріплені бітумною емульсією, при розрахунковій температурі, °С:		
0	1000-1200	0,3-0,4
10	400-600	0,1-0,2
20	100-150	0,05-0,06
Бетони із фрезерованих асфальтобетонів, укріплені комбінованим в'язучим (цемент + бітумна емульсія), при розрахунковій температурі, °С:		
0	2900-3400	0,8-1,0
10	1800-2000	0,6-0,8
20	1200-1500	0,4-0,6

На основі виконаних досліджень розроблено зміну №1 до відомчих будівельних норм [4] стосовно розрахункових характеристик бетонів із холодних сумішей на основі фрезерованого асфальтобетону, яка набула чинності та може використовуватись для розрахунків дорожніх одягів.

1. Рециклирование дорожных одежд. Часть 1. Руководство по холодному рециклированию дорожных одежд непосредственно на дороге с применением цемента / Пер. с англ. В. Зинченко. Под общей ред. проф. В.Жданюка и Д.Сибильского. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 78 с.

2. Бахрах Г.С., Кретов В.А., Горлина Г.С. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации. - М.: ГП „Информавтодор”, 2002. – 43 с.

3. ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801 – 98) Будівельні матеріали. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань. К.: Держбуд України, 2000. – 45 с.

4. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. К.: Укравтодор, 2004. – 176 с.

5. Сиденко В.М., Грушко И.М. Основы научных исследований. – Харьков, Высшая школа, 1985. – 223 с.

6. ВБН В.2.3-218-002-95. Проектування і будівництво основ та покриттів автомобільних доріг із кам'яних матеріалів, промислових відходів і ґрунтів, укріплених цементом. К.: Укравтодор, 1995. – 48 с.

7. Радовский Б.С., Щербакова Е.Я., Малеванский Г.В., Сиденко В.М., Батраков О.Т. Указания по определению прочностных и деформационных характеристик дорожно-строительных материалов и грунтов. – Киев, 1975. – 90 с.