

УДК 625.7.18; УДК 625.731.1

І.П.Гамеляк, О.Ю.Усиченко, Л.А.Дмитренко, А.Я.Коломієць
Національний транспортний університет
Київський національний університет технологій та дизайну
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОСТІЙКОСТІ ЖОРСТКИХ ГРАТОК

В статті експериментально визначено показники термостійкості жорстких геосинтетичних ґраток за стандартними методами та лабораторними методами які моделюють умови теплового впливу на дослідні зразки при укладанні асфальтобетону під час будівництва доріг.

Встановлено, що поліпропіленові ґратки мають низьку температуру плавлення 140...160 °С, це може приводити до їх деструкції при використанні в гарячих асфальтобетонних сумішей, температура яких при виробництві повинна становити від 140 до 175 °С, в залежності від складу суміші та марки використовуваного бітуму. Наведено приклад руйнування покриття при неправильній технології використанні жорстких поліпропіленових ґраток.

Рис. 4. Табл 4. Літ 10.

В статье экспериментально определены показатели термостойкости жестких геосинтетических георешеток по стандартной методике и лабораторными методами моделирующими условия теплового воздействия на испытательные образцы при устройстве асфальтобетонного покрытия при строительстве дорог.

Установлено, что полипропиленовые решетки имеют низкую температуру плавления 140 ... 160 °С. может приводить к их деструкции при использовании горячих асфальтобетонных смесей, температура которых при производстве должна быть от 140 до 175 °С, в зависимости от состава смеси и марки используемого битума. Приведен пример разрушения покрытия при неправильной технологии использования жестких полипропиленовых решеток.

In article experimentally determined values of rigid geosynthetic grids thermal stability by standard methods, and laboratory methods which simulating the conditions of heat exposure on test pieces during asphalt pavement construction.

Established that polypropylene grids have a low melting temperature 140 ... 160 °C, which can lead to their degradation by the using in hot asphalt mixtures with construction temperature between 140 and 175 °C., depending on the composition of the mixture and used bitumen grade. Shown an example of the pavement destruction with incorrect using technology of rigid polypropylene grids.

Постановка проблеми. У відповідності з міжнародним досвідом та вимогами будівельних норм [1] для армування асфальтобетонних покриттів рекомендується використовувати армуючі синтетичні матеріали (АСМ) з міцністю не менше ніж 50 кН/м для доріг I та II категорії, та не менше ніж 40 кН/м для доріг III – IV категорії. При відповідному техніко – економічному обґрунтуванні може використовуватися АСМ з міцністю більше 100 кН/м. Для забезпечення ефективного використання АСМ його видовження при розтягу не повинно перевищувати максимального видовження при розриві композиту (асфальтобетон та АСМ) яке становить 6–12% у залежності від температури випробування. Робота асфальтобетонного покриття в пружній стадії забезпечується при видовженні АСМ в межах 3–6%.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вплив температури на механічні властивості різних видів полімерів, волокон і ґраток із них досліджений недостатньо [1 -7]. Не зважаючи на відхилення для різних волокон і ґраток із однакових волокон, спостерігається загальна закономірність, яка полягає у зменшенні напружень (міцності) та у збільшенні деформацій, як розривних так і не розривних при підвищенні температури [1 - 3].

Під час будівництва доріг широко використовуються георатки. Які спрямовані на виконання функції підсилення та армування [5 -10]:

1. Зменшують товщину шару, зберігаючи таким чином, природні ресурси і навколишнє середовище .
2. Зменшується об'єм робіт по екскавації, заміні і утилізації слабого ґрунту.
3. Представляється можливість необхідного ущільнення конструктивних шарів.
4. Збільшуються проектні строк експлуатації покриття і міжремонтний строки служби.

5. Допомогає уникнути нерівномірних просадок над карстовими чи неоднорідними природними основами.

6. Запобігти прояву відображених тріщин в асфальтобетонних покриттях, що влаштовуються та тріщинувато – блочних основах.

На ринках України існують такі постачальники геораток: АПРОЛАТ [6], TENSAR [7], TENAX [8]. Технічні характеристики, за якими оцінюють якість геораток різних виробників відрізняються незначно (табл. 1).

Таблиця 1.

Технічні характеристики, за якими оцінюють якість геораток

Найменування показників	Од. вим.	Гр.- 1	Гр.- 2	Гр.- 3
Поверхнева щільність	г /м ²	300	400	530
Максимальне навантаження при випробуванні на розтягнення в здовж, не менше	кН/м	20	30	40
Максимальне навантаження при випробуванні на розтягнення в поперек, не менше	кН/м	20	30	40
Навантаження на розтягування при відносному видовженні 2 % в здовж, не менше	кН/м	5	11	13
Навантаження на розтягування при відносному видовженні 5 % в поперек, не менше	кН/м	10	20	25
Навантаження на розтягування при відносному видовженні 5 % в поперек, не менше	кН/м	13	20	25
Відносне видовження при максимальному навантаженні в здовж/ в поперек, не менше	%	10/10	10/10	10/10
Розміри вічок	по довжині	мм	35±5	35±5
	по ширині	мм	35±5	35±5

Як бачимо якість матеріалі характеризується в основному міцністю геораток та видовженням при розтяганні. Дистриб'ютори пропонують ґратки як для армування ґрунтових та штучних основ [6-8] так і армування асфальтобетонних покриттів [7]. Відсутній показник усадка при зміні температури Як показала практика таких характеристик недостатньо для оцінки якості геораток в повній мірі. Це підтверджується випадками швидкого руйнування доріг через не врахування термостійких властивостей геораток.

Постановка проблеми.

Порівняння характеристики полімерів для виробництва АСМ показує, що поліпропіленові волокна мають низьку температуру плавлення 160 °С, що може приводити до їх деструкції при використанні гарячих асфальтобетонних сумішей, температура яких при виробництві повинна становити від 140 до 165°С, у залежності від складу суміші та марки використовуваного бітуму. Крім того, температура крихкості поліпропіленових волокон близько – 10 °С, що може бути причиною їх термічного розтріскування в зимовий період при спільній дії напружень від перепаду температури та навантаження.

Можливі причини руйнування покриття на об'єкті:

Для асфальтобетону використання матеріалів із поліпропілену не доцільно, через такі причини:

1) Через ефект запам'ятовування форми (при виготовленні ґратки способом витягування утворюється анізотропна структура, яка має анізотропні властивості в різних напрямках та зберігається пам'ять матеріалу);

- 2) Через незадовільну технологічність та крихкість, особливо при понижених температурах спостерігається погана укладка;
- 3) Основне - це недостатня теплостійкість пропілену, а саме низька температура плавлення.

Наприклад, поліефір (поліестер) має температуру плавлення 240-260 °С. Фірми виробники гарантують збереження властивостей матеріалу до 220 °С. Поліпропілен, з якого виготовлено ґратки має температуру плавлення 115-130 °С і рекомендовану температуру для використання 80-90 °С. Температура асфальтобетонної суміші при укладці 120-130 °С для звичайного асфальтобетону, а температура початку ущільнення 110 – 130 °С. Для щебенево - мастикового асфальтобетону, характерна температура асфальтобетонної суміші при укладці на 15 – 30 °С більша, тобто 130-155 °С. Тобто, вже в процесі влаштування покриття в матеріалі внаслідок розігріву і плавлення відбувається видовження нерівномірне в різних напрямках, яке в подальшому при експлуатації приводить до розхитування структури покриття та утворення тріщин типу крокодилова шкіра. Температурні коливання та повторні видовження - стиснення матеріалу в окремих комірках приводять до недостатнього зчеплення між шарами асфальтобетону, що є причиною передчасного руйнування покриття. Нажаль дані обґрунтування не були враховані. Результати руйнування конструкції на км. 175 автодороги Кіпті – Глухів – Бачівськ наведеної на рис 1, видно на приведених нижче фото (рис. 2).

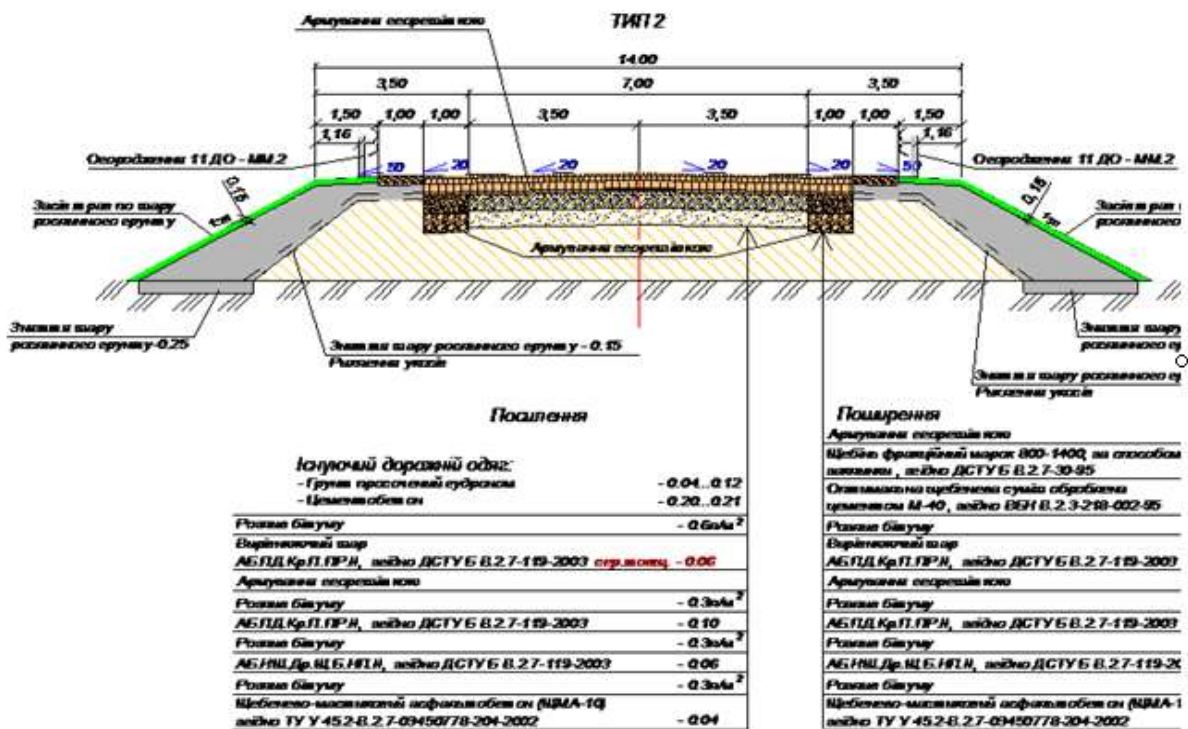


Рис. 1. Конструкція дорожнього одягу на ділянці

Реконструкція дороги полягала у віброрезонансному руйнуванні цементобетонної плити товщиною 22 см та влаштовані поверху шару вирівнювання. На ділянках із слабкою основою руйнування плити не проводилося, було рекомендовано використання нежорстких армуючих ґрвток, для зменшення ймовірності проявлення відображених тріщин над швами бетонних плит. Зверху вирівнюючого шару вкрито 10 см крупнозернистого асфальтобетону. На ділянці км. 175 конструкція покриття товщиною 6 см влаштовувалась із дрібнозернистого асфальтобетону поверх ґратки Tensar AR1 з підложкою на підґрунті з бітумної емульсії. Ґратка пришипувалась дюбелями до поверхні достатньо часто. Всі роботи виконувались якісно при дотриманні існуючих норм стосовно технології влаштування армованого покриття. Роботи виконувались у вересні 2008 року.



Рис. 2. Вигляд ділянки на спуску та руйнування асфальтобетонного покриття у верхній частині ділянки

На початку настання жаркого періоду у середині травня 2009 році знизу спуску виникла перша тріщина. Розкриття якої становило 1,5 – 2 см. Через пару тижнів зверху ділянки довжиною 350 м точно над границею укладки ґратки виникла поперечна тріщина. На 07.07 2009 р. ширина розкриття тріщини розриву становила біля 20 см. У поздовжньому напрямку посередині та на краю проходжної частини такою розвинулася тріщина шириною 7-8 см та відбулося сповзання асфальтобетону над ґраткою.

Якість виконання робіт по влаштуванню покриття була доброю і задовільною. Єдина невідповідність при будівництві - поздовжній ухил 45 промилів, що вище рекомендованих нормами значень (45 промилів).

Основна причина розшарування між покриттям і основою внаслідок температурних деформацій ґратки. При контакті із гарячим асфальтобетоном відбувся нагрів ґратки внаслідок чого матеріал змінив свої лінійні розміри, при нагріві відбулося нерівномірне видовження, а при охолодженні – зменшення довжини (усадка).

Після руйнувань виконано зняття покриття та ґратки і перекриття новим шаром крупнозернистого асфальтобетону та покриття ізщебенево – мастикового асфальтобетону ЩИА-20.

Мета дослідження - визначення термостійкості жорстких синтетичних георіток за стандартними методами та лабораторними методами які моделюють умови теплового впливу на дослідні зразки при укладанні асфальтобетону під час будівництва доріг.

Об'єкт досліджень. Георітки поліпропіленові жорсткі:

число поздовжніх ребер - 16 реб/м .

число поперечних ребер - 18 реб/м.

©І.П.Гамеляк, О.Ю.Усиченко, Л.А. Дмитренко, А.Я. Коломієць

Основні результати дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Експеримент проведений за наступним планом.

- визначена термостійкість за стандартним методом.
- визначення термостійкості в лабораторних умовах, для чого створювали такі умови теплового впливу на георатку, що наближені до теплового впливу під час укладання асфальтобетону при будівництві доріг.

За критерієм термостійкості геораток вибрані: зміна лінійних розмірів після теплового впливу, зміна міцності і видовження при розтяганні. За стандартним методом георатки витримували в термошафі протягом 2 год. при температурі $t=160\text{ }^{\circ}\text{C}$, потім визначали їх характеристики. Проведені також випробування на термостійкість георатки в термошафі при $t=120\text{ }^{\circ}\text{C}$. і $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$. протягом 10 хв. Результати визначення термостійкості за стандартним методом наведені в табл. 2, а за запропованою методикою в табл. 3 та 4.

Таблиця 2.

Результати визначення термостійкості ґраток за стандартним методом

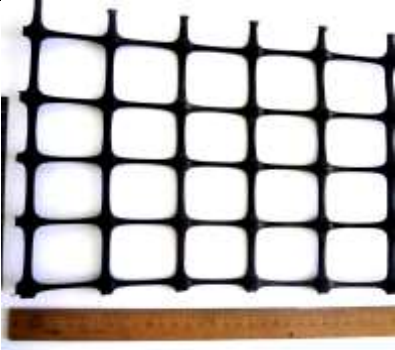

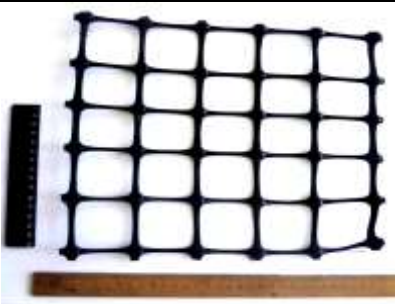
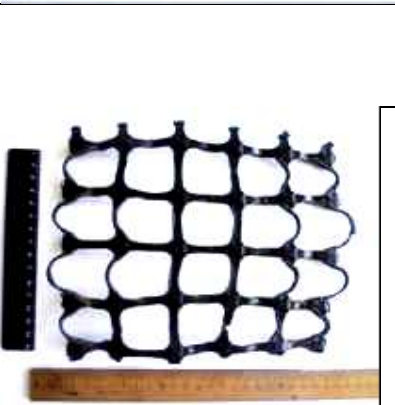
Найменування показників	Вихідні дані	Після випробування в термошафі		
		при $t=160\text{ }^{\circ}\text{C}$. протягом 2 год.	при $t=120\text{ }^{\circ}\text{C}$. протягом 10 хв.	при $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$. протягом 10 хв.
Гранична міцність кН/м				
за довжиною	37	29,3	-	37,4
за шириною	30	20,52	-	30,2
Видовження при граничній міцності %				
за довжиною	15,8	64,5	-	15,9
за шириною	16,7	38	-	16,6
Навантаження при розтяганні на 5 %, кН/м				
за довжиною	25	-	-	24,9
за шириною	13,2	-	-	13,1
Зміна лінійних розмірів після теплового впливу %				
за довжиною	-	41,9	7,6	0
за шириною	-	50	3,3	0


Як слідує із даних випробувань за стандартною методикою міцність за довжиною зменшується на 20,8%, за шириною на 31,6%. Ще більше змінюється видовження при граничній міцності зростаючи за довжиною в 3,08 раз, а за шириною 1,28 рази.

Умови випробування, температурний режим та поведінки ґраток після різних режимів випробувань наведено в табл. 3.

Таблиця 3.

Вигляд ґраток після витримання при різних температурах та умовах навантаження

Зовнішній вигляд після випробувань	Умови випробування	Температурний режим
	1 – закріплена з навантаженням	Пісок був нагрітий до 175 °С.
	2 – геогратка не закріплена $T_0=172$ °С.	Пісок нагріли до 195 °С, висипали на решітку і решітка в цей момент нагрілась до 101 °С, через 2 хв. до 138 °С і далі почала остигати. <i>Відносна деформація</i> довжина $I= 6,3$ %, ширина $I_1= 1,7\%$
	3 – закріплена з навантаженням 20 кг, $T_0= 205$ °С.	Пісок нагріли до 205 °С, висипали на ґратку і ґратка в цей момент нагрілась до 130 °С, через 2 хв. до 142 °С і далі почала остигати. <i>Відносна деформація</i> довжина $I= 36,9$ %, ширина $I_1= 34,0\%$
	4 – без навантаження	Пісок нагріли до 198 °С, висипали на ґратку і ґратка в цей момент нагрілась до 122 °С, через 2 хв. до 173 °С і далі почала остигати.
	5 – без навантаження в піску не закріплена ґратка на рамці	Нагрів піску до 195 °С.
	6 – без навантаження	Нагріли пісок до 250 °С. В момент засипки ґратки вона нагрілась до 193 °С, через 2 хв. температура стала 250 °С. Після чого вона почала охолоджуватись.

	<p>7 – без навантаження</p>	<p>При засипанні піском ґратка (пісок нагрітий на 208 °С), по краях деформувалась і усілася, по центрі проби виникла арка.</p>
---	-----------------------------	--

Для створення умов теплового впливу на георатки під час укладання асфальтобетону в лабораторних умовах проведені наступні досліді:

- в термошафі розмістили металевий контейнер з піском і металеву пластину, яку нагрівали до визначеної температури. Георатки розміщали в дерев'яний контейнер, закріплювали на дні контейнера в кожному вічку. Прикріплювали до геораток датчики для визначення температури нагріву геораток, після чого засипали піском нагрітого до визначеної температури, зверху розміщали нагріту пластину та вантажі для моделювання навантаження асфальтобетону на георатки під час укладання. Під час контакту з піском фіксувалася температура нагріву георатки та її температура остигання в часі.

На рис. 3 наведено порівняння зміни температури від часу остигання піску для деяких дослідів при випробуванні ґраток та зміна температури поверхні покриття від часу остигання асфальтобетонної суміші різної товщини від 2 до 7 см

Розподіл температурних полів при укладці та остиганні асфальтобетонних шарів визначається тепловізіонним методом при ремонті покриття на Московському мосту в м. Києві 22.11.2013 та реконструкції автодороги Київ – Ковель у жовтні 2013 року. Спостереження за остиганням шару із литої та щебенево – мастикової асфальтобетонної суміші товщиною від 2 до 7 см дозволило встановити залежність температури поверхні покриття від часу остигання.

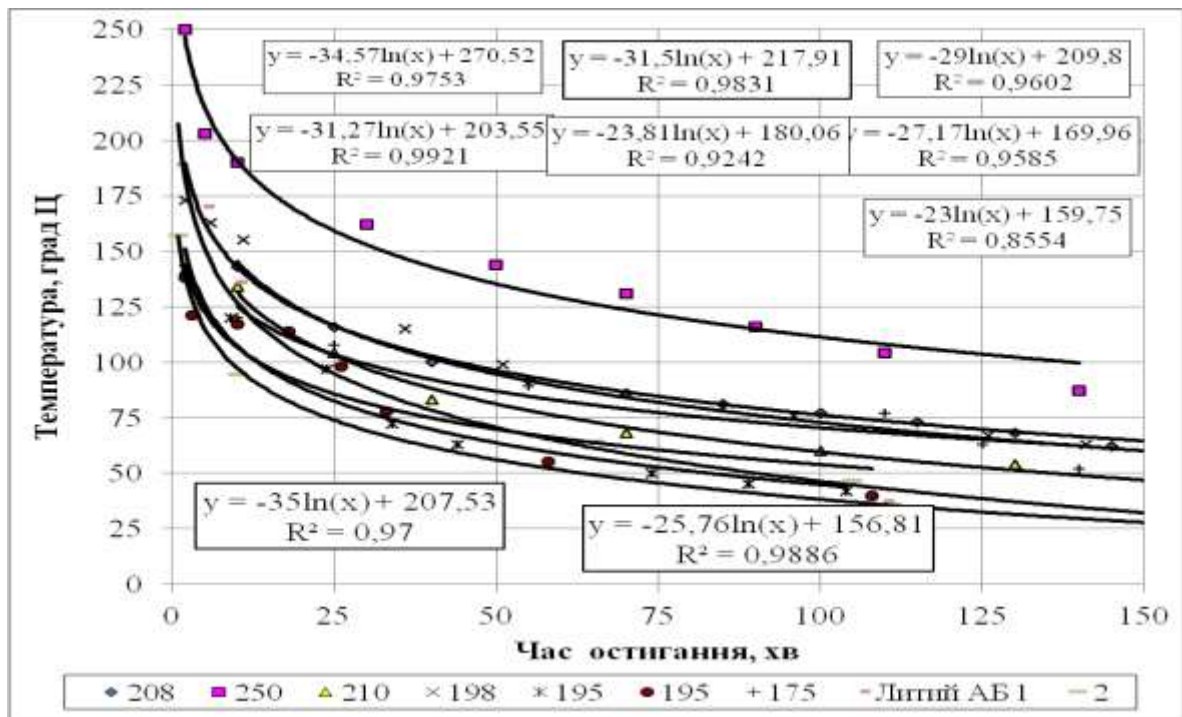


Рис. 3. Порівняння зміни температури піску від часу остигання при випробуванні ґраток та зміна температури поверхні покриття від часу остигання асфальтобетонної суміші різної товщини

Як видно із результатів, запропонована методика остигання ґраток моделює фактичні температури остигання асфальтобетонних сумішей при влаштуванні та ремонті асфальтобетонних покриттів.

Вплив температури на властивості жорсткої геогратки при розтягненні у вигляді графіка “навантаження – деформація” наведено на рис. 4.

Для правильного вибору ГМ із позицій теплостійкості повинна виконуватися умова:

$$T_{\text{плавл.}} > T_{\text{кр.}} + \Delta,$$

де $T_{\text{плавл.}}$ - температура плавлення полімеру, із якого виготовлена ґратка, $T_{\text{кр.}}$ - температура початку ущільнення, яка залежить від температури розм'якшення бітуму $T_{\text{розм.}}$, для традиційного асфальтобетону $T_{\text{кр.}} = 92 + T_{\text{розм.}} \Delta$ – запас на температуру, 10 – 15 °С.

Температура початку плавлення поліпропілену 80 °С, а температура термодеструкції 155 °С.. Тобто, поліпропілен ризиковано використовувати у якості армування асфальтобетонних шарів покриття.

Враховуючи, що коефіцієнт лінійного розширення полімерів дуже значний слід очікувати великі лінійні переміщення за рахунок розширення при нагріві або деформування ґратки при неможливості вільного переміщення при укладці за рахунок перепаду температур.

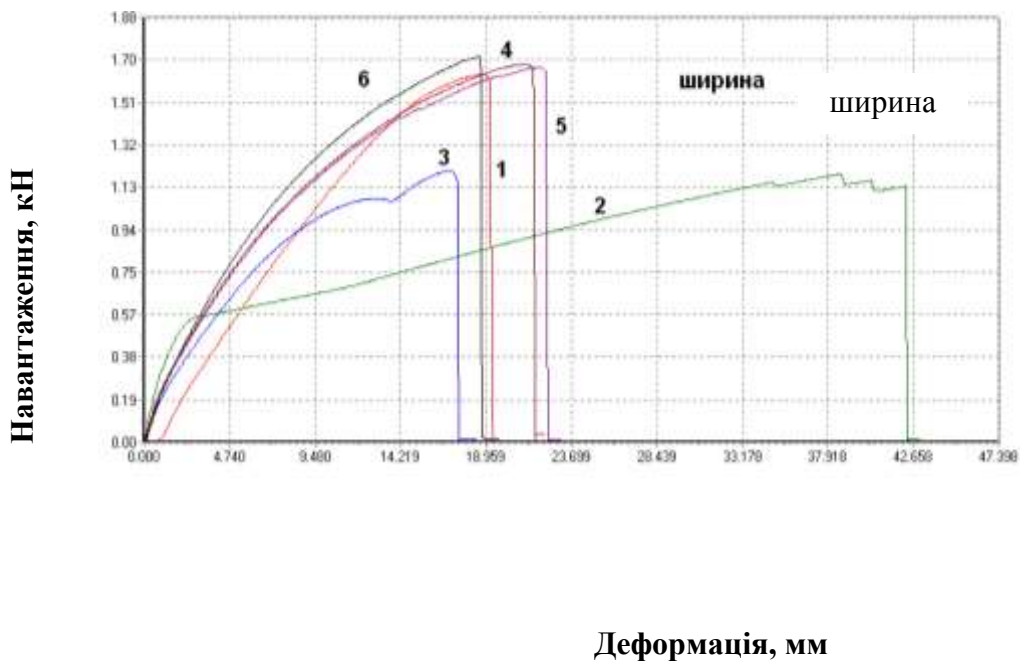
Навпаки, при остиганні шару відбувається скорочення окремих смуг, що може стати причиною виникнення внутрішніх напружень і розриву зв'язку асфальтобетонної матриці та матеріалу ґратки і розшаруванню основи та покриття. При можливості зміни довжини $\epsilon_1 = \alpha (T_1 - T_2)$, приймаючи α - коэф. лінійного-температурного розширення асфальтобетону $12 \cdot 10^{-5}$ 1/град, а поліпропілену- $15 \cdot 10^{-5}$ 1/град, отрмується відносне видовження

$$\epsilon_1 = \alpha (T_1 - T_2) = 15 \cdot 10^{-5} (140 - 40) = 15 \cdot 10^{-5} 100 = 1,5 \cdot 10^{-2}, \text{ або } 1,5\%.$$

При довжині ділянки асфальтобетну, що укладається за один прийом 16 м, теоретичне лінійне видовження буде

$$\Delta L = \alpha (T_2 - T_1) L = 15 \cdot 10^{-5} (140^0 - 40^0) \cdot 16 \text{ м} = 0,24 \text{ м} = 24 \text{ см}.$$

Фактичне значення видовження можуть бути меншими за рахунок релаксації напружень, однак це потребує додаткових досліджень. Однак, саме цей фактор є причиною піднімання ґратки у вигляді хвиль при укладанні асфальтобетонної суміші.



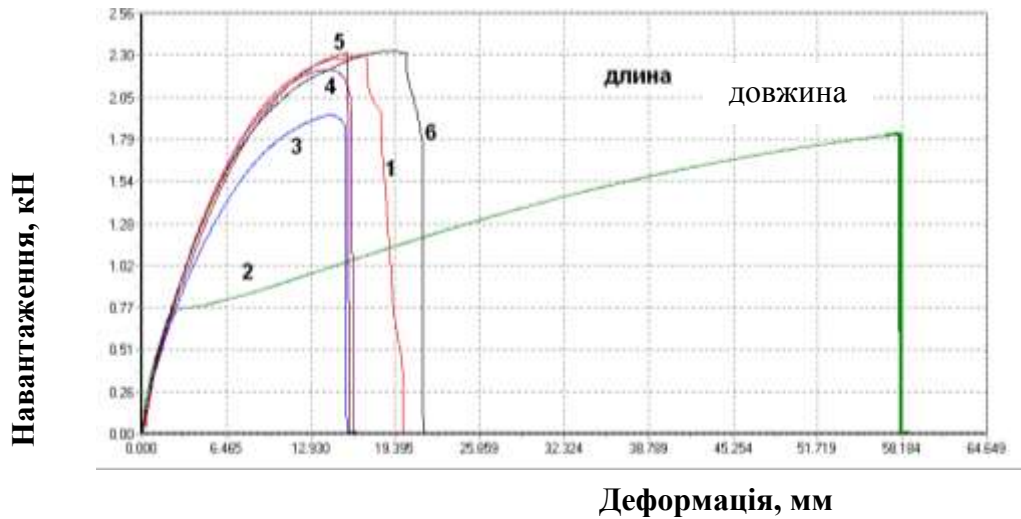


Рис. 4. Графік “навантаження – деформація” для жорстких ґраток в поздовжньому та поперечному напрямку:

- 1 – вихідний зразок;
- 2 – стандартна методика 160°C - 120 хв. без піску;
- 3 – температура 157°C (піску) - 138°C (ґратка) вар. 9 - вільний стан;
- 4 – температура 158-132°C вар. 10 ґратка не закріплена;
- 5 – температура 174-140°C вар. 8 ґратка не закріплена;
- 6 – температура 195-134°C вар. 11 ґратка закріплена/

Результати дослідів по визначенню термостійкості ґраток наведені в табл. 4.

Таблиця 4.

Результати дослідів по визначенню термостійкості ґраток

№п/п	Параметри проведення випробувань					Зміна розмірів							
	Температура нагріву піску, град.	Температура нагріву геограток під час контакту з нагрітим піском			Маса ванта жу, кг.	Усадка		Гранична міцність кН/м		Видовження при граничній міцності, %		Навантаження при розтягуванні на 5% ,кН/м	
		Через 2 хв після контакту	Через 10 хв після контакту	Через 120 хв після контакту		ширина	довжина	ширина	довжина	ширина	довжина	ширина	довжина
1	250	203-200	190	34	20	16,6	14	-	-	-	-	-	-
2	210	172	134	30	20	6,3	1,4	-	-	-	-	-	-
3	205	205-180	143	50	20	36,9	34,0	-	-	-	-	-	-
4	198	173-169	155	50	20	40,9	21,2	-	-	-	-	-	-
5	195	170	120	50	20	14,4	9,2	-	-	-	-	-	-
6	195	134	127	26	34	14,4	9,2	-	-	-	-	-	-
7	175	135	120	50	1,5	5,8	1,5	-	-	-	-	-	-
8	175	140	120	38	34	10,6	4,6	30,5	36,3	21,1	14,5	15,3	23,8
9	157-160	138	117	50	20	7,2	1,7	26,5	36	29	12,8	10,7	16,2
10	158-156	132	106	43	34	7	1,2	28,8	36,2	19,9	14	15,7	23
11	195	134-132	127	45	34	5,1	1,3	30,1	37,4	17,9	16,6	16,7	24,8
12	Вихідні дані	-	-	-	-	-	-	30,2	37,4	16,7	15,8	13,2	25

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку. При обґрунтування області використання різних типів ґраток для армування асфальтобетонного покриття необхідно детально враховувати стійкість сировини, з якої виготовлено ґратку до підвищених технологічних температур. Необхідно внести в норми вимоги до теплостійкості ґраток із полімерних волокон.

Остаточне рішення питання можливо тільки на підставі даних прямих випробувань фізичних, механічних і гідравлічних властивостей АСМ. При проведенні порівняльних випробувань проводиться оцінка експлуатаційних властивостей, і визначаються найбільш відповідні типи армуючих матеріалів, що забезпечують оптимальне проектне рішення. Необхідно продовжити дослідження для інших видів ґраток. Цікавим є встановлення коефіцієнтів запасу на повзучість з врахування температурних впливів на ґратки

Порівняльні випробування сприяють нагромадженню теоретичних і експериментальних даних, які необхідні для підвищення якості проектування й надійності конструкцій, а також стимулюють розвиток технологій дорожнього будівництва.

Висновки.

Розроблена методика моделює умови нагрівання жорстких ґраток при укладанні асфальтобетону, дозволяє вибирати їх за показником "термостійкість" відповідно до діючих температурних режимів влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу.

Поліпропіленові ґратки можна використовувати в умовах, коли температура їх нагріву знаходиться в межах 100... 120°C, а час остигання до 50°C не перевищує 30 хв. Для отримання позитивних результатів при використанні поліпропіленових ґраток при армуванні асфальтобетонних покриттів необхідна їх модифікація з метою забезпечення теплостійкості або зміна технології влаштування асфальтобетонного покриття. Як варіант можливий захист ґратки шляхом влаштування тонкошарового покриття із емульсійно – мінеральної суміші (типу Сларрі Сіл або Мультимак), а вже потім влаштування шару із гарячого асфальтобетону.

Проведення вхідного контролю за розробленою методикою, під час вибору ґраток дозволить уникнути передчасних руйнувань армованих асфальтобетонних покриттів.

Важливі для вибору армуючих синтетичних матеріалів, а саме зміна лінійних розмірів (усадка) при контакті з асфальтобетоном, не надаються виробниками продукції і потребують нормування в держаних стандартах та будівельних нормах.

1. ГБН В.2.3-37641918-544: 2014 Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. – К.: Укравтодор, 2014. – 144 с.
2. Мортон В.Е., Херл Д.В.С. Механические свойства текстильных волокон. – М.: Легкая промышленность, 1971. – 179 С.
3. Щербина Е.В. Геосинтетические материалы в строительстве. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 112 с.
4. Перепелки К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности // Рос. Хим. Ж. – М.: 2002. т. XLVI, № 1. – С. 31 - 47.
5. Плоские двусосные георешетки АПРОЛАТ® [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sibur-geo.ru/product/geosetka>.
6. Применение георешетки Tenax 3Dgrid в дорожном строительстве [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://geosvit.com.ua/primenenie-materialov/primenenie-georeshetki-tenax-3dgrid-v-dorozhnom-stroitelstve>.
7. Контроль трещинообразования асфальтобетонных покрытий [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tensar.ru>.
8. Tenax [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.tenax.net/ru/geosynthetics/products/three-dimensional-geogrids-tenax-3d-grids_ru.htm.
9. Мерзлякин А.Е., Гладков В.Ю., Гамеляк И.П. Армирование асфальтобетонных покрытий при строительстве и реконструкции дорожных одежд. Автомоб. дороги: Обзор. информ. ЦБНТИ Минавтодора РСФСР.- М.: 1990.- Вып. 5.- 45 с.
10. Гамеляк И.П., Кострицкий В.В., Малантьев В.Ю. Порівняння властивостей геограт для армування асфальтобетонного покриття. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Вип. 75, 2008.- С. 157 - 167.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2014.