

обозначения. 3. ASTM E 1316-94 "Standard Definitions of Terms Relating to Acoustic Emission". 4. MBV 218-03450778-240-2004 Метод акустико-емісійного діагностування технічного стану мостів при статичних випробуваннях. 5. Коваль П.М., Сташук П.М. Дослідження залізобетонних конструкцій методом акустичної емісії // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2001. – Вип. 63. – С. 276–282. 6. Бабак В.П., Філоненко С.Ф. Вплив порогу обмеження на критеріальну оцінку виділення сигналів акустичної емісії від тріщин // Вісн. ЖІТІ. – 1998. – № 7. – С. 31–39. 7. Обстеження і випробування частини естакади, що зазнала вогневого впливу на перетині вул. Довженка – вул. В. Гетьмана та пр. Перемоги // Звіт НДР. – К.: ДерждорНДІ, 2006. – 111 с. 8. Філоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. – К.: Министерство образования Украины. КМУЦА, КНТУ Украины "КПИ", 1999. – 304 с. 9. Бабак В.П., Філоненко С.Ф. Математические модели оценки и прогнозирования состояния изделий методом акустической эмиссии // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – № 2. – С. 62–68. 10. Філоненко С.Ф. Анализ кинетики развития процессов разрушения методом акустической эмиссии // Междунар. научн. конф. "Синергетика 2000. Самоорганизующиеся процессы в системах и технологиях": Материалы конф., г. Комсомольск-на-Амуре, 2000. – С. 94–97.

УДК 625.7

**В.В. Кострицький, І.П. Гамеляк\*, Л.А. Дмитренко\*\***

Київський національний університет технологій та дизайну (КНУТД)  
01601, м. Київ-11, вул. Немировича-Данченка, 2,

\*Національний транспортний університет, кафедра ДБМ і хімії  
01010, м. Київ, вул. Суворова, 1,

\*\*Лабораторія АДВЛ "Текстиль-Тест" при КНУТД  
01601, м. Київ-11, вул. Немировича-Данченка, 2

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕОГРАТ ДЛЯ АРМУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ**

© Кострицький В.В., Гамеляк І.П., Дмитренко Л.А., 2007

**Наведено результати експериментального дослідження властивостей геограт, призначених для армування асфальтобетонного покриття. Виконано порівняння чотирьох типів геограт за структурними, фізико-механічними та експлуатаційними показниками властивостей.**

**In this article the results of experimental research of properties of geogrid are represented intended for the reinforcement of flexible pavement. Comparison is executed 4-types of geogrid after the structural, mechanical and operating indexes of properties.**

**Актуальність досліджень з армування асфальтобетонного покриття геогратами. Підвищення міцності, зсувостійкості та тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів в аеродромному і дорожньому будівництві є актуальною проблемою у зв'язку зі збільшенням розрахункових навантажень (до 115–130 кН/вісь або 11,5–13 тс/вісь) і все вищою інтенсивністю руху (до 7–22 % на рік).**

Починаючи з середини 80-х років в межах ЄСРП для цих цілей почали застосовуватися армувальні ґратки із скловолокна [1].

Спочатку використовувалися склопластикові сітки типу СПАП КАМА. В останні роки набуло поширення скло ґратки типу Армдор та пропонується велика кількість синтетичних сіток. Однак необхідно використовувати тільки дорожні ґратки. Розмір вічок сіток повинен бути 15×20 мм, для забезпечення зчеплення з нижнім шаром, що надзвичайно важливо, як було показано у [2].

За розробленою на кафедрі ДБМ і хімії технологією в м. Києві побудовано ряд дослідних ділянок та реконструйовано міські вулиці та дороги з використанням армувальної ґратки Хателіт (вул. О.Теліги, Московська площа тощо).

В останні 15–20 років для посилення асфальтобетонних покриттів для зменшення відображених тріщин використовуються гнучкі рулонні геогратки, що мають достатньо високу міцність на розтяг і низькі деформаційні показники, є хімічно і біологічно стійкими, а також характеризуються хорошою адгезією з бітумом і термостійкістю [1–3].

Дотепер в Україні і СНД властивості геотекстильних матеріалів оцінюють звичайними випробуваннями текстильних матеріалів та технічних тканин [3, 6]. Однак зрозуміло, що ці випробування не відображають реальної поведінки геосинтетику, особливо при його контакті із ґрунтом чи асфальтобетоном. З 70-х років минулого століття за кордоном почали розробляти нове обладнання і методики випробувань, які реальніше моделюють роботу геотекстилю. Через декілька років були прийняті норми ISO<sup>1</sup>, ASTM<sup>2</sup>, DIN<sup>3</sup> та AASHTO<sup>4</sup> [4–5]. Ці методи стандартних випробувань забезпечили загальну основу і були прийняті не лише в країнах європейської співдружності, але й для всього світу.

**Постановка проблеми.** Однак сьогодні в Україні, як і за кордоном, немає нормативного документа, який би регламентував методи випробувань геограт. Відсутність такого документа викликає труднощі у проектуванні, будівництві та контролі якості використання нових геосинтетичних матеріалів. Це пов'язано з тим, що нині при виборі геограт користуються їхніми номінальними характеристиками, які встановлює виробник матеріалу, замість розрахункових, які б чітко відображали поведінку матеріалів у дорожній конструкції за конкретних умов роботи.

Випробування повинні моделювати роботу АСМ<sup>5</sup> на різних етапах життєвого циклу конструкції, а саме:

1) на етапі проектування – випробування для встановлення міцності на розрив з визначення діаграми "навантаження – лінійна деформація" ("напруження – відносна деформація  $\sigma - \epsilon$ " з встановленням коефіцієнта варіації міцності та деформативності;

2) на етапах будівництва – визначення якості та кількості підґрунтовки під геограти для асфальтобетонних шарів випробуванням на адгезію до асфальтобетону або зсув між шарами;

3) на етапі експлуатації – визначення механічних характеристик, а саме: показника витривалості (втоми) при різних 3–4 рівнях навантаження (наприклад, 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 від руйнуючого та визначення коефіцієнта запасу на довготривалу повзучість (creep);

4) при контролі якості геограт – оцінка їхньої відповідності нормативним та проектним характеристикам (порівняння з даними виробників);

5) встановлення розрахункових характеристик геограт, з подальшим порівнянням та вибором найоптимальнішого матеріалу для заданих умов експлуатації (інтенсивність руху, навантаження на колесо, інтенсивність дії навантаження, діаметр відбитку колеса, час дії тощо, автомагістралі, зупинки, тротуари тощо).

---

<sup>1</sup> International Standard Organisation – Міжнародна організація зі стандартизації, заснована в Парижі (1983 р.).

<sup>2</sup> American Society for Testing and Materials в США (1898 р.).

<sup>3</sup> Deutsches Institut für Normung в Німеччині (1917 р.).

<sup>4</sup> The American Association of State Highway and Transportation Officials в США (1956 р.).

<sup>5</sup> Армувальний синтетичний матеріал (АСМ) – синтетичний матеріал у вигляді *геограт*, *геотекстилю* чи *геокомпозиту* на основі полімерний чи штучних волокон, який використовується для армування монолітних шарів нежорсткого дорожнього одягу.

**Мета роботи.** Мета роботи: полягає у дослідженні властивостей геограт для встановлення раціональної галузі їхнього використання при армуванні асфальтобетонного покриття та експериментальне порівняння властивостей геограт, призначених для армування асфальтобетонного покриття.

Для досягнення поставленої мети заплановано виконати такі завдання роботи:

- визначити параметри лабораторного обладнання, режими та умови випробувань геограт;
- подати методику випробувань;
- випробування за п. 1–3, наведеними вище, у присутності представника замовника з фотодокументацією 4–5 видів геограт, поданих замовником на основі різної сировини (склосітка, поліестерові композити двох типів (PET – Хателіт та Арматекс), полівініл-алкогольні (PVA) близької міцності на розрив (50–60 кН/м з розміром вічок 35×35 мм);
- встановлювати розрахункові характеристики геограт для проектування дорожніх конструкцій.

В Україні відсутні стандарти, технічні умови та інші нормативні документи стосовно методів випробувань геограт для дорожнього будівництва.

Ці дослідження виконувалися як пошукова науково-дослідна робота, згідно з замовленням Товариства з обмеженою відповідальністю “Євроізол Geosynthetic” за кошти замовника.

Робота виконана на сертифікованому обладнанні АДВЛ “Текстиль-Тест” при КНУДТ. Експериментальні дослідження виконувалися в травні – жовтні 2007 р.

Для армування асфальтобетонного покриття жорстких та напівжорстких дорожніх одягів використовують геогратки на основі природних органічних та неорганічних волокон та штучних органічних (полімерних) та неорганічних волокон (табл. 1).

Таблиця 1

**Характеристики волокон для виготовлення геограт**

Види волокон	Назва матеріалу	Температура плавлення	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Діаметр, мкм	Механічна міцність, x1000, МПа	Міцність при розтягу, x1000, МПа	Модуль пружності, x1000 МПа	Подовження при розриві, %
Природні органічні	Сизаль	–	1,5	10–50	–	0,8	–	3
	Бавовна	–	1,5	10–50	0,42	0,7	4,9	3–10
Неорганічні	Азбест	–	2,6	0,2–30	0,91	3,1	68	0,6
Штучні органічні (полімерні)	Нейлон	250	1,1	10–500	0,77	0,84	4,2	16–20
	Поліамід	270	1,27	10–500	2,145	3,78	32,4	10,5
	Поліефір (PET)	256	1,38	10–500	0,73–1,16	0,78–2,62	8,4–13,8	14,5
	Поліпропілен	160	0,9	10–500	0,4	0,77	3,5–8,0	10–23
	Акрил		1,1	10–500	0,21	0,42	2,1	25–45
	Поліетилен ВТ	149	0,96	10–500	0,7–2,59	2,89	1,4–4,2	3,5–10
	Полівініл-алкоголь	–	1,26	10–500	–	–	–	3,0–6,0
Штучні неорганічні	Скло-волокно	730	2,64	5–20	1,05–3,9	1,84	76,0	1,5–3,5
	Сталь	1500	7,74	5–500	0,8–3,15	1,42	200,0	2,0–4,0
	Вуглець	400	2,0	5–10	2,0	2,05	245	1
	Базальт	1500	2,65	2–10	4,1	6,24	120,0	8,1

Для армування асфальтобетонного покриття основне поширення в Україні набули геограти, які вибрані для порівняльних випробувань, а саме: склосітка – АРМДОР виробництва Росії; поліестерові композити двох типів (РЕТ – Хателіт, фіми **HUESKER Synthetic®** (Німеччина) та Арматекс – RSR фірми Kordarna (Чехія). Новим, малодослідженим матеріалом є геограти на основі полівінілалкогольних волокон (PVA) з назвою Арматекс – RSR фірми Kordarna.

Фірми, що поставляють матеріали, рекламують свій виріб як найкращий та найнадійніший. Тому виникає питання об'єктивної оцінки якості існуючих геограт для встановлення їхньої придатності в конкретних умовах експлуатації. Порівняння технічних характеристик різних типів ґратки фірм, що поставляють матеріали, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Технічні характеристики різних типів ґратки**

Показник	Одиниця вимірювання	Значення	ARMATEX RSM 50/50	ARMATEX RSM 50/50	HaTelit C 40/17	АРМДОР
Розтягуюче напруження, EN ISO 10319	кН/м	Середнє, MD	55	55	50	45
		Похибка	-5	-5	-5	-
	кН/м	Середнє, CMD	55	55	50	45
		Похибка	-5	-5	-5	-
Відносна деформація при максимальному видовженні, EN ISO 10319	%	MD	4	11	12	3
		Похибка	+/-1,5	+/-2,5	+/-2,5	
	CMD	4	11	11	3	
		Похибка	+/-1,5	+/-2,5	+/-2,5	
<i>Примітка:</i> Значення в напрямку (поздовжньому – MD/поперечному CMD)						

**Визначення фізико-механічних характеристик та їхній аналіз.** Для встановлення фактичних характеристик структури, міцності та деформативності геограт, які використовуються останніми роками у дорожньому будівництві України в червні–вересні 2007 року були виконані детальні випробування чотирьох видів армувальних матеріалів.

Порівнювали матеріали, які за даними поставників мають приблизно однаковий рівень міцності при різних характеристиках деформативності.

**Визначення характеристик структури геограт.** Розрахунковий умовний діаметр  $d_{ум}$  визначався за відомою формулою

$$d_{ум} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T}{\gamma}} \quad [\text{мм}] \quad (1)$$

де  $T$  – товщина, тексти,  $\gamma$  – щільність матеріалу волокон або ниток, мг/мм<sup>3</sup>.

Площа перерізу нитки вирахована за розрахунковим та виміряним діаметром.

Розрахункова площа перерізу нитки визначалась за формулою:

$$S = \frac{G}{L \cdot \gamma} \quad [\text{мм}^2] \quad (2)$$

де  $G$  – лінійна щільність ниток, вилучених із поздовжніх і поперечних ребер полотна,  $L = 1000$  мм.

Результати обробки даних вимірювань лінійних розмірів отворів, наприклад, геогратки Хателіт за довжиною та шириною наведено на рис. 1.

Результати визначення структурних характеристик геограт, разом із даними фізико-механічних параметрів геограт, дають змогу визначити розрахункові характеристики геограт з різною надійністю.

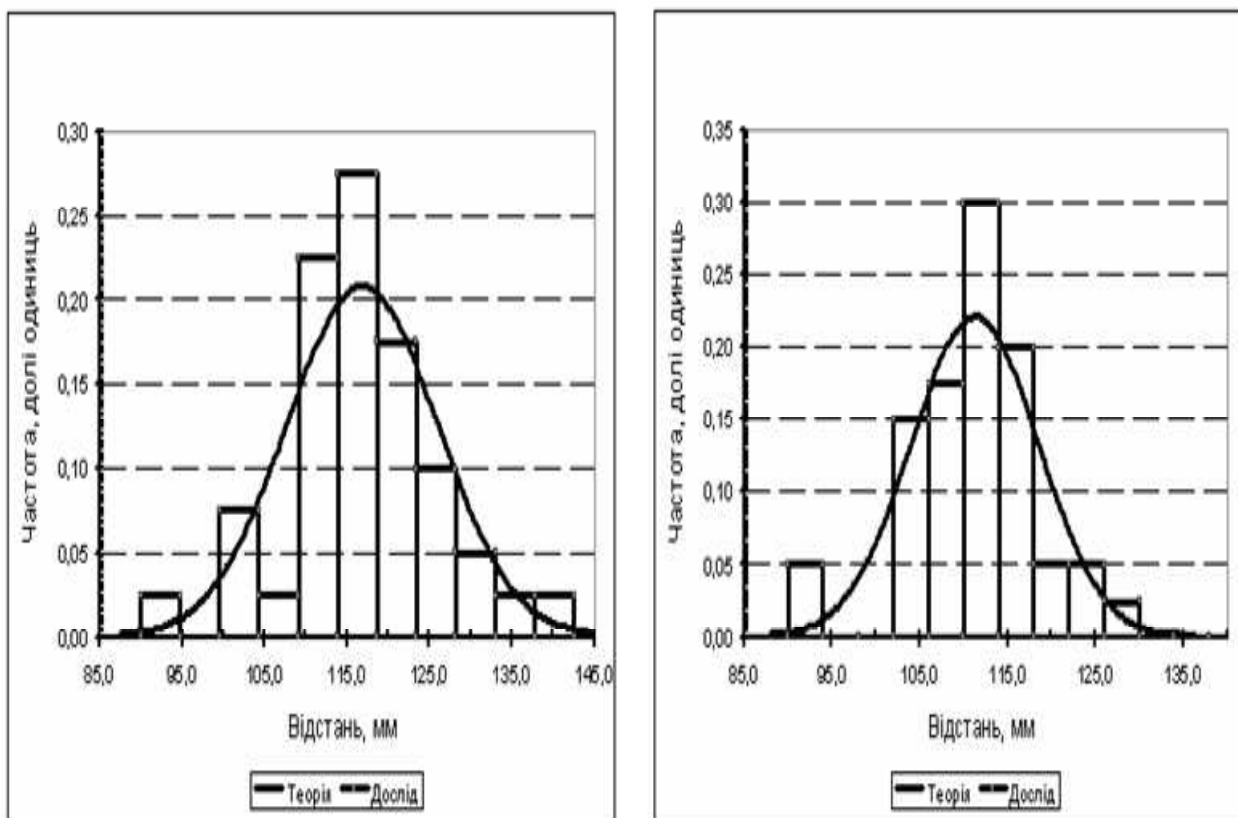


Рис. 1. Гістограма та щільність розподілу лінійних розмірів отворів геогратки Хателіт за довжиною та шириною

**Визначення характеристик міцності та деформативності геограт.** Методика випробувань розроблена АДВЛ “Текстиль-Тест” при КНУДТ. Випробування здійснено на розривній машині виробництва Японії з максимальним зусиллям до 500 кН (рис. 2).



Рис. 2. Розривна машина для визначення міцності на розтяг

Розрахунки міцності на розтяг виконано при значеннях відносного видовження (1, 3, 4, 5 та 10 %). Результати наведено в табл. 3.

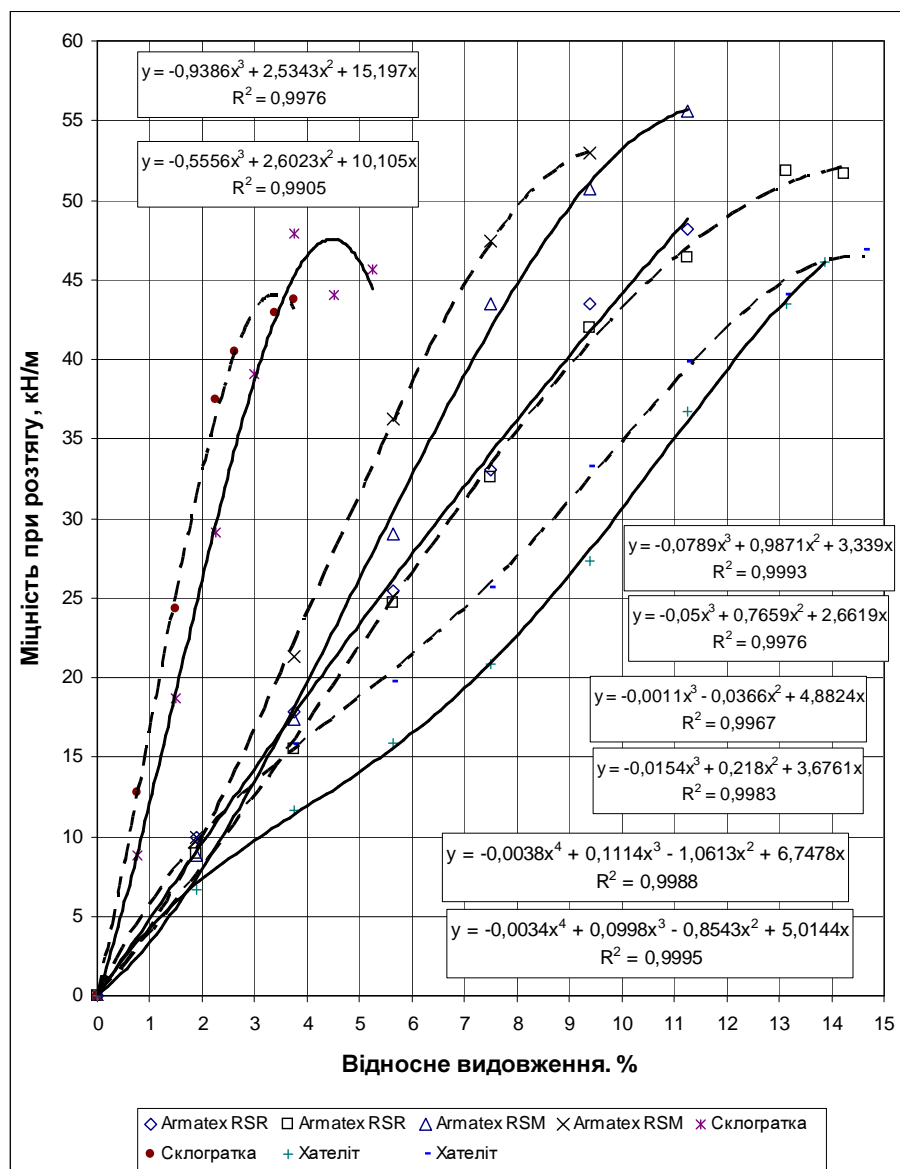


Рис. 3. Зведені результати випробувань для чотирьох видів геограт у поздовжньому та поперечному напрямках

Таблиця 3

**Розрахункові значення міцності на розтяг геограт за різного видовження**

Напрямок	Видовження, %	Міцність на розтяг, кН/м			
		Хателіт (PET)	Armatex RSR (PET)	Armatex RSM (PVA)	Склогратка Армдор
По ширині	1	5,8	3,9	4,2	16,8
По довжині	1	4,3	6,2	3,4	12,2
По ширині	3	13,4	12,6	16,8	43,1
По довжині	3	9,8	14,7	13,5	38,7
По ширині	4	16,2	17,2	24,1	41,3
По довжині	4	11,9	18,4	19,7	46,5
По ширині	5	18,8	21,9	31,5	—
По довжині	5	14,1	22,4	26,2	46,1
По ширині	10	34,7	43,2	53,2	—
По довжині	10	30,5	45,1	53,2	—

**Висновок.** При видовженні до 3 % найкращі результати показали скляні геограти. Однак за більшого видовження вони катастрофічно руйнуються. При видовженні 4 % і більше краще застосовувати матеріал Armatex RSM із полівінілалкоголю. Найменшу міцність показала геогратка Хателіт за фіксованих значень деформативності від 1 до 10 % із поліестеру. Матеріал фірми Кордарна із поліестеру Armatex RSR показав дещо кращі результати, ніж Хателіт, але меншу міцність, ніж Armatex RSM.

**Дослідження експлуатаційних характеристик.** До експлуатаційних належать показники, що характеризують поведінку матеріалу в конструкції дорожнього одягу при дії транспортних навантажень (витривалість, міцність на зсув, довготривала повзучість тощо) та факторів довкілля (вплив рівня рН, та УФ опромінювання тощо).

**Визначення характеристик витривалості (втоми) геограт.** Покриття автомобільних доріг працюють при транспортних навантаженнях, які прикладаються повторно (від 50 до 70 000 проїздів на годину) протягом тривалого періоду експлуатації (9–15 років) до капітального ремонту. Враховуючи це, найважливішим показником для геограт повинен бути показник витривалості при дії багаторазових циклів навантажень.

Для порівняння опору геограт повторним навантаженням виконано серію пошукових досліджень

Порівнювали характеристики геограт за показниками:

- втома – накопичення пошкоджень під дією циклічних навантажень, що приводять до зміни властивостей (утворення тріщин, руйнування) ребер;
- витривалість – властивість елементів матеріалу чинити опір циклічним навантаженням;
- коефіцієнт витривалості – відношення значень розривного навантаження елементів структури геограт після і до випробування на витривалість. Як основне обладнання вибрана установка для випробування типу 5-24-1, що використовується при дослідженнях на втому кордних ниток у шинах виробництва “Метримплекс” (Угорщина). Сутність методу полягає в оцінці витривалості ниток під дією циклічних навантажень розтягу, тертя, вигину.

Методика виконання робіт:

- 1) з геограт витягують ребро та ділять на складові його нитки;
- 2) визначають вихідну міцність частини ниток, вилучених з ребра.
- 3) частину ниток, що залишилася випробовують на приладі при розтягу та вигину ниток та часом дії навантаження 1 год, 2 год, 4 год;
- 4) після випробувань визначають міцність ниток і розраховують коефіцієнт витривалості ниток.

Результати випробувань для матеріалів на основі поліестеру та полівінілалкоголю наведено на рис. 1.

Найкращу опірність багаторазовим навантаженням показали матеріали на основі поліестерних волокон Armatex RSR та Хателіт. Для геогратки Armatex RSR коефіцієнт витривалості змінюється від 0,94 до 0,61 при зміні рівня навантаження від 0,5 до 2 кгс та зміні кількості циклів від 3660 до 14640. У цих самих умовах Хателіт дещо краще працює при незначних навантаженнях, що дорівнюють 0,5 кгс, та малій кількості циклів (3660), коефіцієнт витривалості дорівнює 1. Однак навіть за малих навантажень, але збільшеній у чотири рази кількості циклів коефіцієнт витривалості зменшується до 0,88. При підвищенні інтенсивності навантажень та кількості циклів відбувається зменшення коефіцієнта витривалості до 0,598.

Для геогратки Armatex RSM (PVA) на основі полівінілалкогольних волокон характерне інтенсивніше падіння міцності при повторних навантаженнях незважаючи на те, що їхнє відносне видовження при однаковій міцності не перевищує 9 % коефіцієнт витривалості змінюється від 1,0 до 0,56 за незначних навантажень і може відбуватися руйнування за великих навантажень та значній кількості циклів (коефіцієнт витривалості 0,17).

Найменшу опірність при втомі мають скляні волокна. Залежність кількості циклів до руйнування від прикладеного навантаження для склограт наведено на рис. 1. Як випливає з результатів випробувань, для склограт неможливо визначити коефіцієнт витривалості, оскільки вони швидко руйнуються вже після десятків – сотень циклів.

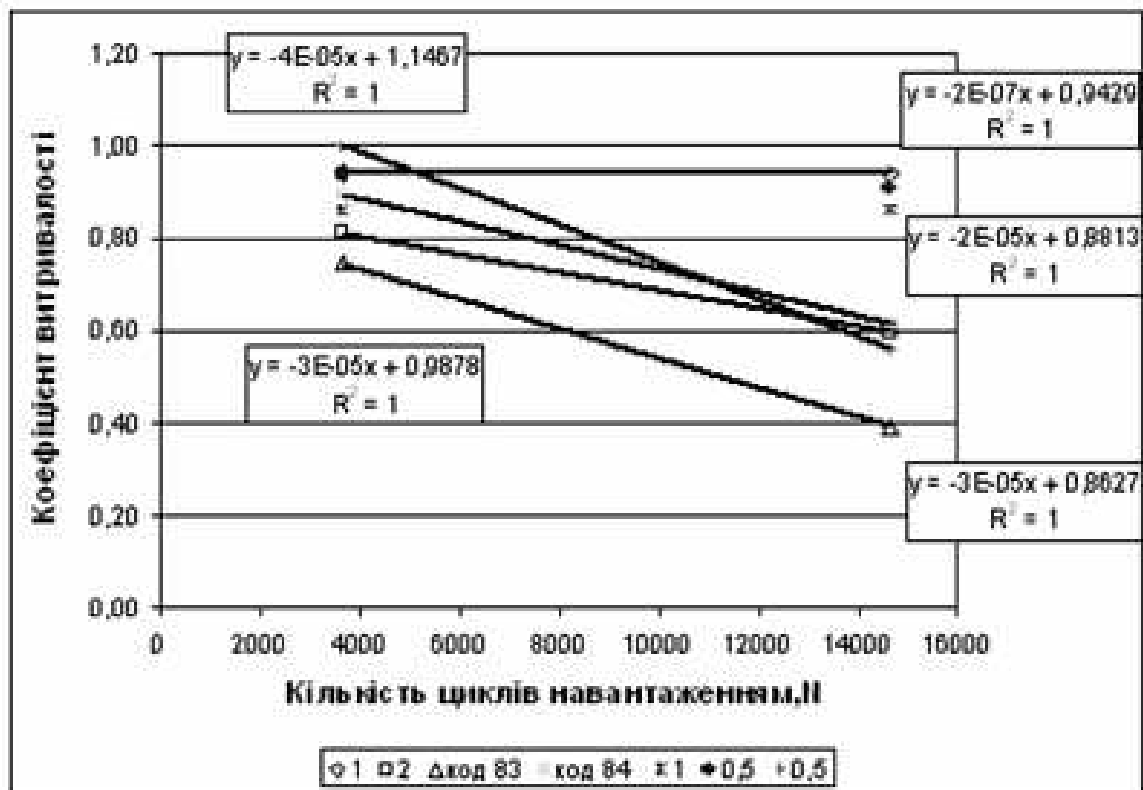


Рис. 4. Залежність коефіцієнта витривалості від кількості циклів навантаження для геограт на основі PET і PVA

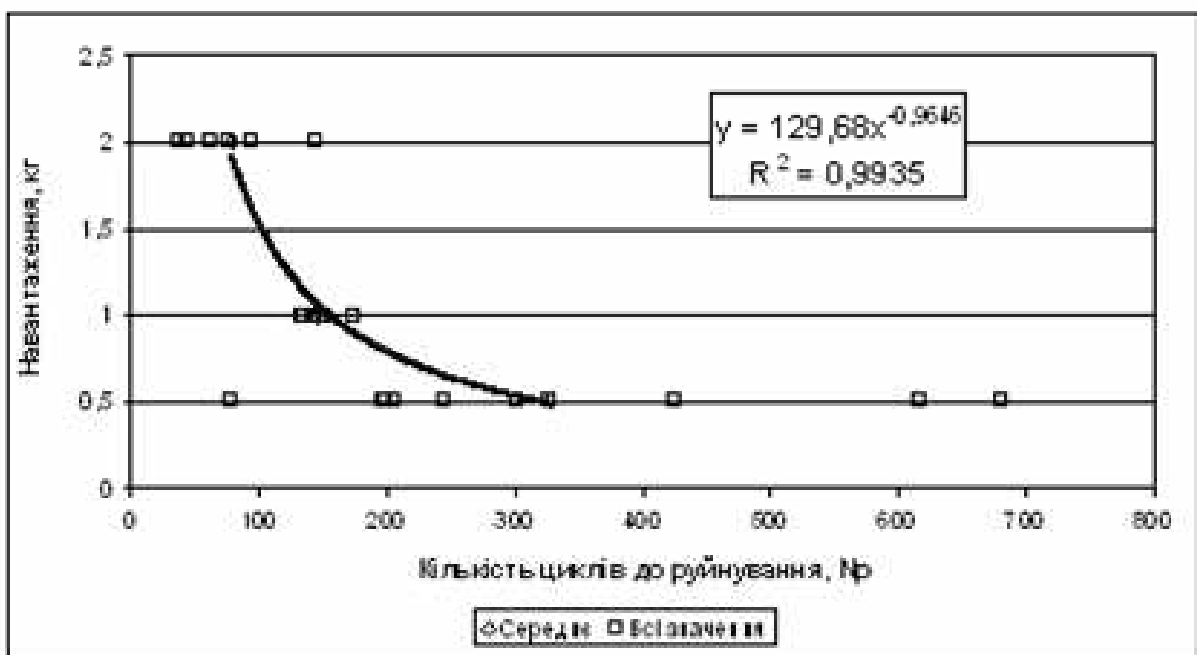


Рис. 5. Залежність кількості циклів до руйнування від прикладеного навантаження для склограт



На найменшому рівні навантажень (0,5 кг) спостерігається значний розкид даних (рис. 5). Однак для середніх значень дані випробувань апроксимуються степеневію залежність та удвох логарифмічному масштабі отримується пряма лінія.

**Висновки.** Ця методика є дуже перспективною для вибору виду волокон під час виготовлення геограт. Випробування на втому дають змогу уникнути похибок при застосуванні матеріалів в конструкціях дорожнього одягу при прикладанні навантажень, які оцінюються мільйонами циклів за строк служби.

Результати випробувань на втому повністю протилежні результатам випробувань на міцність при розриві. Виявляється, що матеріали, які мають мінімальне видовження, погано працюють на витривалість і руйнуються після декількох сотень циклів. Тому скляні геограти не повинні використовуватися в умовах багаторазової дії колісних навантажень, а тільки на узбіччях та стоянках транспорту. При багатократному навантаженні склограти катастрофічно руйнуються. Матеріал Armatex RSM із полівінілалкоголю має меншу стійкість до втоми, ніж матеріали на основі поліестерових волокон. Матеріал фірми Кордарна із поліестеру Armatex RSR показав дещо кращі результати, ніж Хателіт, при багаторазових навантаженнях.

При інтерпретації даних випробувань необхідно враховувати, що один цикл навантаження на машині, що використовується, дослідження на втому кордних ниток в шинах виробництва “Метримплекс” (Угорщина) відповідає 5 прогинам – стиранням в кожному з двох напрямків переміщення нитики. Тобто для отримання фактичної кількості циклів навантаження необхідно отримані значення помножити на 10.

**Загальні висновки.** Отже, на ринку дорожньо-будівельних матеріалів України є достатньо широкий спектр геограт, а також набутий відповідний досвід роботи з цими матеріалами у дорожніх організацій, що засвідчує своєчасність широкого комплексу випробувань геограт та в майбутньому на цій основі розроблення відомчих нормативних документів [7].

Необхідно розробити нормативний документів щодо встановлення характеристик геограт для умов експлуатації конструкцій “Методи випробувань армуючих синтетичних матеріалів” та розробити методику визначення залишкового ресурсу армувальних синтетичних матеріалів для армування асфальтобетонного покриття при дії багатоциклових навантажень.

1. Мерзликін А.Е., Гладков В.Ю., Гамеляк І.П. Армирование асфальтобетонных покрытий при строительстве и реконструкции дорожных одежд. Автомоб. дороги: Обзорн. информ. ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – М., 1990. – Вып. 5. – 45 с. 2. Гамеляк І.П. Об эффективности армирования асфальтобетонных покрытий // Тез. сообщ. Всесоюз. науч.-техн. конф. “Строит. Автомоб. дорог общего польз. и внутри-хоз. дорог сельхоз. предприятий в Нечерноземной зоне РСФСР”. – Брянск, М., 1989. – 60 с. 3. Мерзликін А.Е., Мозговой В.В., Гамеляк І.П. Оценка химической стойкости сеток при армировании асфальтобетона // Вісн. Донбас. держ. акад. буд. і арх. – Макіївка, 2002. – Вип. 1 (32). – С. 140–143. 4. Lytton R.L. Use of geotextiles for reinforcement and strain relief in asphalt concrete // Geotextiles and Geomembranes. – 1989. – Vol. 8, № 3. 5. MOLENAAR A.A.A., Nods M. Design method for plain and geogrid reinforced overlays on cracked pavements. – Reflective Cracking in Pavement. Edited by L. Francken, E. – 1997. 6. Гамеляк І.П., Шевчук В.Р., Шевчук О.О. Критерії вибору геосинтетиків при проектуванні земляного полотна. Ч. I: Класифікація та функції геосинтетиків // Автошляховик України. – 2005. – № 6. – С. 36–41. 7. Shevchuk V., Mozgovoy V., Gamelyak I., Shevchuk E. Laboratory test method to evaluate the installation damage of geotextiles / IGC-8, V.4. – Yokohama, 2006. – P. 1535–1538.