

О.С. Гончаров¹, Н.А. Зубрецька¹, С.С. Федін²¹ Київський національний університет технологій та дизайну, Київ² Національний транспортний університет, Київ

ОЦІНЮВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗНИХ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ МОДЕЛЕЙ

У статті в результаті проведення експериментальних досліджень побудовано модель нейронної мережі для прогнозування довговічності геотекстильних матеріалів та розроблено експрес-метод оцінювання їх якості за результатами прискорених випробувань на довговічність під дією динамічних навантажень.

Ключові слова: оцінювання довговічності, геотекстильний матеріал, прискорені випробування, нейромережне прогнозування.

Вступ

На етапі проектування автомобільних доріг актуальною проблемою оцінювання якості геотекстильних матеріалів (ГТМ) є отримання оперативних та достовірних даних щодо показників їх довговічності під дією динамічних навантажень [1].

Існуючі стандартизовані методи оцінювання показників якості ГТМ дозволяють визначити пошкодження матеріалу під дією циклічних динамічних навантажень від технологічного транспорту при влаштуванні дорожнього полотна [2], але не передбачають оцінювання циклічної довговічності при експлуатаційних навантаженнях.

Для оцінювання циклічної довговічності ГТМ у роботах [3; 4] пропонується розрахунковий метод, який заснований на визначенні коефіцієнту запасу міцності за експериментальними даними. Проте отримання та узагальнення таких даних потребує проведення довготривалих випробувань. Крім того, існуючі методи не дають можливості отримувати порівняльну оцінку якості та здійснювати обґрунтований вибір однотипних матеріалів різних виробників для заданих умов експлуатації та в залежності від типів автомобільних доріг.

Одним із методів, що дозволяє оперативно визначити властивості ГТМ, може бути проведення прискорених випробувань на довговічність при динамічних навантаженнях та обробка отриманих результатів методами інтелектуального аналізу даних на основі нейромережного прогнозування.

Мета дослідження. Метою дослідження є розробка експрес-методу оцінювання якості геотекстильних матеріалів за результатами прискорених випробувань на довговічність під дією динамічних навантажень.

Результати дослідження

Предметом дослідження є показники якості нетканих термоскріплених геотекстильних полотен,

які широко використовуються при будівництві автомобільних доріг.

Для дослідження циклічної довговічності ГТМ використано найбільш поширені у вітчизняній та світовій практиці дорожнього будівництва неткани термоскріплені геотекстильні полотна з поверхневою щільністю в інтервалі 120 ÷ 200 г/м². До таких матеріалів належать ГТМ марки Тураг типів SF-40, SF-49 та SF-56, характеристики яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики ГТМ марки Тураг
типів SF-40, SF-49, SF-56

Характеристика	SF-40	SF-49	SF-56
Поверхнева щільність μA , г/м ²	136	165	190
Границя міцності α_{β} , кН/м	9,0	11,5	13,1
Деформація при максимальному навантаженні ϵ , %	60	60	65

Вибір таких типів ГТМ обумовлено рекомендаціями виробника для основних типів автомобільних доріг, а саме: SF-40 – для доріг із низькою інтенсивністю руху, SF-49 – для доріг, що використовуються для проїзду легкових автомобілів та SF-56 – для доріг, що використовуються для проїзду важких транспортних засобів.

Методика проведення досліджень передбачала три етапи.

На першому етапі досліджень згідно методики [5] були проведені прискорені випробування дослідних зразків ГТМ для визначення їх циклічної довговічності за кількістю циклів динамічних навантажень до розриву n_p . При створенні динамічних навантажень використовували прилад для випробувань на багаторазове розтягання FF-05, який забезпечує вплив на дослідний зразок циклів навантаження-

розвантаження з постійними значеннями амплітуди та величини навантаження (рис. 1).

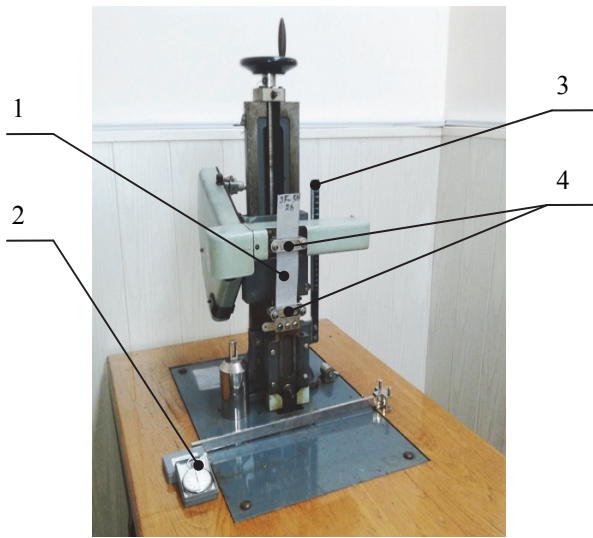


Рис. 1. Прилад FF-05 для прискорених випробувань на багаторазове розтягання

Дослідний зразок (1) закріплювали між затискачами (4), початкова відстань l_0 між якими дорівнювала 100 мм. Режими роботи приладу встановлювали наступними: початкове навантаження P – на рівні 5,5 кН/м, амплітуда циклічного навантаження –

2,5 мм, частота прикладання навантажень – 1000 циклів за хвилину.

В процесі випробувань, у зв'язку із втратою міцності внаслідок зміни структурних та фізичних властивостей матеріалу, відбувалося видовження зразка та, як наслідок, зменшення величини початкового навантаження P . Для відновлення навантаження P електронна система регулювання приладу автоматично корегувала його величину до початкового рівня за рахунок переміщення верхнього затискача на необхідну відстань, яка відповідає відносному видовженню зразка l та визначається за шкалою приладу (3). Методикою експерименту передбачалася реєстрація кількості циклів навантаження через кожний 1 мм видовження зразка за допомогою секундоміра (2).

Для обґрунтування оптимального значення початкового P навантаження були проведені попередні експериментальні дослідження при короткострокових циклових навантаженнях за методикою [6]. Дослідні зразки піддавалися 100 циклам навантажень у діапазоні 50–70 % від значення граничної міцності α_f , яке визначалося на основі проведення розривних випробувань 45 зразків кожного із трьох типів матеріалу. Після витримування зразків протягом 24 годин у стані спокою визначалося значення незворотної деформації ϵ (табл. 2).

Таблиця 2

Результати досліджень для обґрунтованого вибору оптимального значення початкового навантаження P

Тип матеріалу	α_f , кН/м	Значення граничної міцності α_f									
		50 %		55 %		60 %		65 %		70 %	
		P , кН/м	ϵ , мм	P , кН/м	ϵ , мм	P , кН/м	ϵ , мм	P , кН/м	ϵ , мм	P , кН/м	ϵ , мм
SF-40	8,5	4,3	0	4,7	0	5,1	0	5,5	0	6	1
SF-49	11,3	5,7	0	6,2	0	6,8	0	7,3	1	7,9	2
SF-56	11,7	5,9	0	6,4	0	7	0	7,6	0	8,2	1

Аналіз отриманих результатів (табл. 2) показує, що для зразків всіх типів ГТМ при максимальному значенні динамічних навантажень 5,5 кН/м незворотна деформація відсутня.

Для проведення випробувань було відібрано по 45 зразків кожного типу матеріалу. Через технологічні особливості випробувального обладнання ширину дослідних зразків а обрано 50 мм на відміну від стандартизованих методик [2; 7], що не суперечить вітчизняній практиці та вимогам національних нормативних документів [2]. Номінальна довжина l_n та товщина b_n зразків становила відповідно 140 мм та 0,3 мм.

Для досягнення репрезентативності даних про властивості матеріалу, у зв'язку із неоднорідністю його структурних характеристик, відбір партій з 15 дослідних зразків вказаних розмірів здійснювався у

3-х різних частинах рулону рівномірно за шириною (рис. 2).

Випробування зразків проводили з метою визначення величини відносного видовження l_p та кількості циклів динамічних навантажень n_p при розриві. Приклад результатів випробувань наведено на рис. 3 у вигляді графіків залежностей кількості циклів навантаження n_p від величини відносного видовження зразків l_p .

Статистичний аналіз результатів випробувань 135 дослідних зразків трьох типів ГТМ показав: матеріал SF-40 (для доріг із низькою інтенсивністю руху) витримує в середньому 729 ± 469 тис. циклів до розриву; матеріал SF-49 (автомобільні дороги для легкових автомобілів) – 2347 ± 648 тис. циклів; SF-56 (автомобільні дороги для важких транспортних засобів) – 3123 ± 804 тис. циклів (табл. 3).

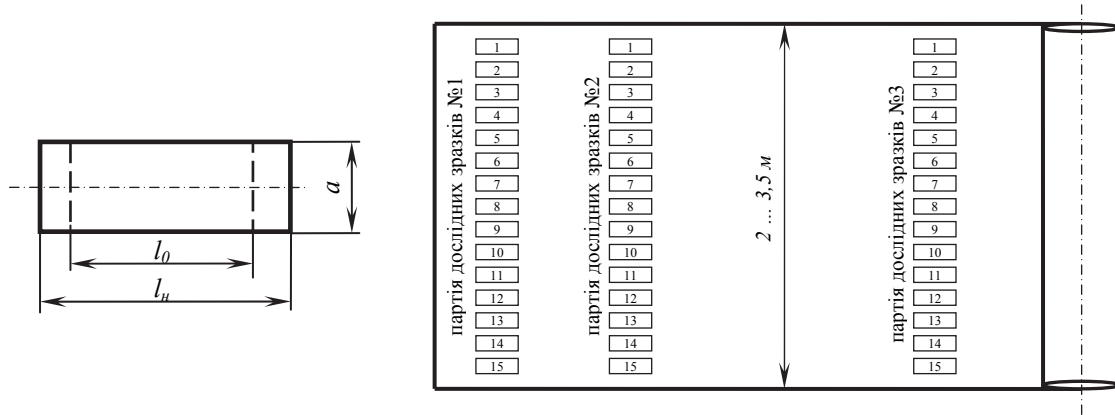


Рис. 2. Загальний вигляд та схема розкрою дослідних зразків з рулону ГТМ

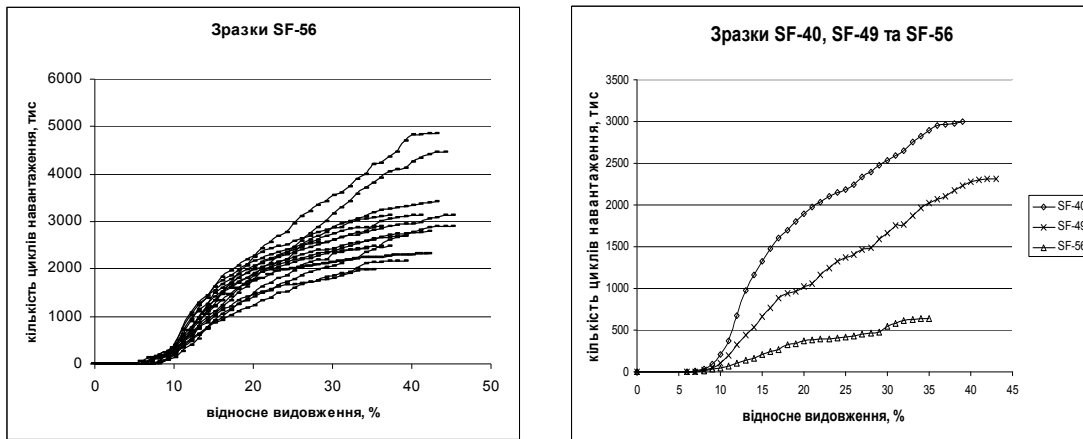


Рис. 3. Залежності кількості циклів навантаження n_p дослідних зразків від їх відносного видовження l_p

Таблиця 3

Результати статистичного аналізу експериментальних даних випробування зразків

Тип матеріалу	Відносне видовження при розриві, %				Кількість циклів навантажень до розриву, тис.			
	\bar{l}_p	СКВ, %	l_p^{\min}	l_p^{\max}	\bar{n}_p	СКВ, тис.	n_p^{\min}	n_p^{\max}
SF-40	41	6,1	35	52	729	469	347	2256
SF-49	43	5,4	33	46	2347	648	986	3571
SF-56	45	5,5	35	48	3123	804	1986	4848

На наступному етапі досліджень для скорочення часу визначення кількості циклів навантаження до розриву з використанням отриманих результатів випробувань в середовищі Deductor Studio Academic побудовано прогнозу нейромережну модель [8]. При цьому для створення навчальної вибірки обиралися значення кількості циклів навантажень n_i при досягненні заданого значення довжини видовження зразка l_i . Перша вхідна змінна m_1 навчальної вибірки відповідала значенню кількості циклів навантаження при видовженні зразка 1 мм, а кожна наступна змінна m_{i+1} відповідала кількості циклів навантажень при збільшенні видовження зразка на 1 мм l_{i+1} . Вихідною змінною є значення кількості циклів навантаження при розриві n_p (рис. 4).

Аналіз результатів випробування (табл. 3) показує, що мінімальне значення відносного видовження при розриві l_p^{\min} дорівнює 33%, тому значення кількості циклів навантажень для вихідної змінної обиралося саме при цьому значенні видовження.

При розробці прогнозу нейромережної моделі типу перцептрон кількість прикладів для формування навчальної та тестової вибірок становила 110 та 10 відповідно. Для оцінювання точності прогнозування було відібрано по 5 зразків кожного типу матеріалу. Умовою точності нейромережної моделі було досягнення похибки прогнозування, що не перевищує 10 % при мінімальному значенні відносного видовження зразка.

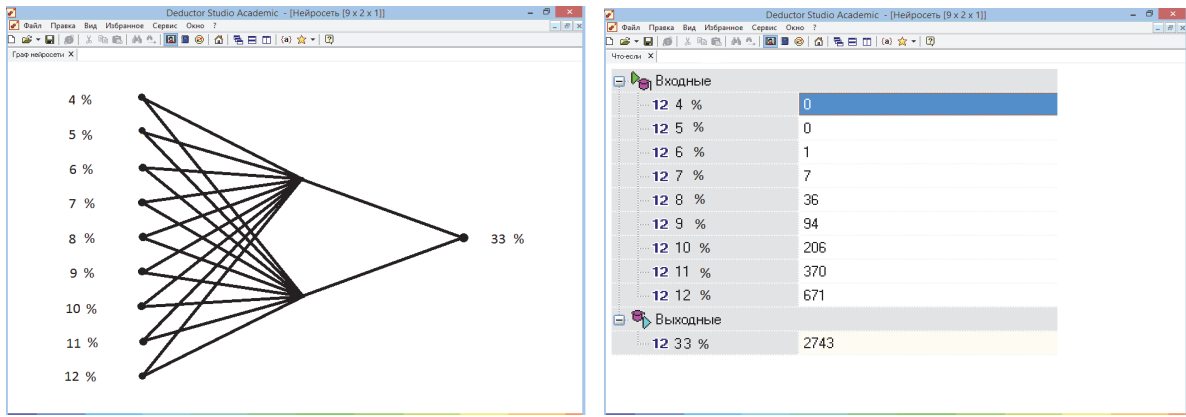


Рис. 3. Модель нейронної мережі для прогнозування n_p

Для визначення оптимальної архітектури моделі нейронної мережі, що забезпечує задану точність прогнозування, було розроблено 8 варіантів моделей з різною кількістю вхідних змінних m навчальної вибірки (табл. 4).

Таблиця 4

Результати оцінювання точності прогнозних нейромережних моделей

Варіант моделі	Кількість вхідних змінних m , шт.	Максимальна похибка прогнозування
№1	8	0,180
№2	9	0,15
№3	10	0,15
№4	11	0,13
№5	12	0,098
№6	13	0,076
№7	14	0,072
№8	15	0,069

В результаті оцінювання точності прогнозних нейромережних моделей за значенням максимальної похибки прогнозування встановлено, що використання моделі №5 дозволяє при проведенні випробувань до довжини відносного видовження 12 % прогнозувати кількість циклів динамічних навантажень n_p із точністю 90%.

Розроблений метод використано для прогнозування властивостей ГТМ вітчизняного виробництва. Так для практичної реалізації методу були проведені випробування на довговічність на прикладі зразків геотекстильного матеріалу марки Геобел Т-200, що є аналогом матеріалу Турар SF-40.

Аналіз результатів опрацювання експериментальних даних, отриманих при проведенні випробувань на довговічність (табл. 5), показує, що дослідний матеріал вітчизняного виробництва марки Геобел Т-200 доцільно використовувати при проектуванні та будівництві доріг із низькою інтенсивністю руху, тому що прогнозні значення кількості циклів навантажень до розриву відповідають інтервалу значень кількості циклів для матеріалу SF-40.

Таблиця 5

Результати випробувань зразків ГТМ марки Геобел Т-200

№ зразка	Кількість циклів навантажень n_p , тис.												Прогнозне значення n_p , тис.
	Відносне видовження l_i , %												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0	0	0	0	0	0	1	12	34	51	76	105	958
2	0	0	0	0	0	0	1	8	29	48	67	97	694
3	0	0	0	0	0	1	7	28	53	84	109	131	1105
4	0	0	0	0	0	0	1	6	21	39	54	88	673
5	0	0	0	0	0	1	9	39	68	92	117	142	1069

Висновки

В результаті проведення експериментальних досліджень побудовано модель штучної нейронної мережі типу перцептрон для прогнозування довговічності геотекстильних матеріалів та розроблено експрес-метод оцінювання їх якості за результатами

прискорених випробувань на довговічність під дією динамічних навантажень.

Встановлено, що для отримання 90% точності прогнозування нейромережної моделі достатнім є проведення випробувань зразків на довговічність до досягнення значення відносного видовження на рівні 12%.

Список літератури

1. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Проектування та будівництво: ДБН В.2.3-4:2007. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.

2. Матеріали геотекстильні. Методи випробувань: СОУ 45.2-00018112-025:2007.– К.: Укравтодор, 2007. – 109 с.

3. Методы оценки долговечности геосинтетических материалов / О.Н. Столяров, А.Н. Деятелилов, А.Ю. Баранов, Д.В. Медведев // Дороги. Инновации в строительстве. Геосинтетические материалы. – 2013. – № 2. – С. 30-31.

4. Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства / Н.А. Грузинцева, М.А. Лысова, Т.В. Москвитина, Б.Н. Гусев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. – №2. – С. 19-22.

5. Вплив багатоциклових навантажень на експлуатаційні характеристики геотекстильних матеріалів / О.С. Гончаров, Л.А. Дмитренко, Г.Т. Костенко, І.П. Гамеляк // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – № 2. – С. 189-194.

6. Вплив короткострокових циклових навантажень на механічні властивості геосинтетичних матеріалів / І.П. Гамеляк, А.М. Слізков, О.С. Гончаров, І.І. Котлярова, Л.А. Дмитренко // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 3-4. – С. 39-45.

7. Геотекстиль. Метод випробування на розтягнення широкую смугою: ДСТУ EN ISO 10319:2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2012. – 9 с. – (Національний стандарт України).

8. Федин С.С. Оценка и прогнозирование качества промышленной продукции с использованием адаптивных систем искусственного интеллекта / С.С. Федин, Н.А. Зубрецкая. – К.: Интерсервис, 2012. – 206 с.

Надійшла до редколегії 4.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. І.В. Петко, Київський національний університет технологій та дизайну, Київ.

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

О.С. Гончаров, Н.А. Зубрецкая, С.С. Федин

В статье в результате проведения экспериментальных исследований построена модель нейронной сети для прогнозирования долговечности геотекстильных материалов и разработан экспресс-метод оценки их качества по результатам ускоренных испытаний на долговечность при динамических нагрузках.

Ключевые слова: оценка долговечности, геотекстильный материал, ускоренные испытания, нейросетевое прогнозирование.

LONGEVITY EVALUATION OF GEOTEXTILES BY NEURAL NETWORK FORECASTING

O. Goncharov, N. Zubretskya, S. Fedin

In the article the neural network models for longevity forecasting of geotextiles was built and quick test of their quality assessment under impact forces was developed.

Keywords: longevity evaluation, geotextiles, quick test, neural network forecasting.