

Шевчук В.Р.

## СПОСІБ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

Оцінка пошкоджуваності геосинтетиків (ГС) при будівництві є актуальним питанням ефективності їх застосування, оскільки вважається, що ГС служитиме менше запроєктованого строку чи навіть не виконуватиме свої функції, якщо він був пошкоджений під час укладання. Спосіб оцінки пошкоджуваності ГС дає можливість прогнозування його залишкових характеристик ще на етапі проектування.

**Попередні дослідження** [1, 2] стосовно пошкоджуваності геосинтетиків при укладанні в конструкцію доводять наступне:

- більшість показників ГС, які використовуються в системах класифікації і специфікації, не відображають належним чином поведінку матеріалу в польових умовах;

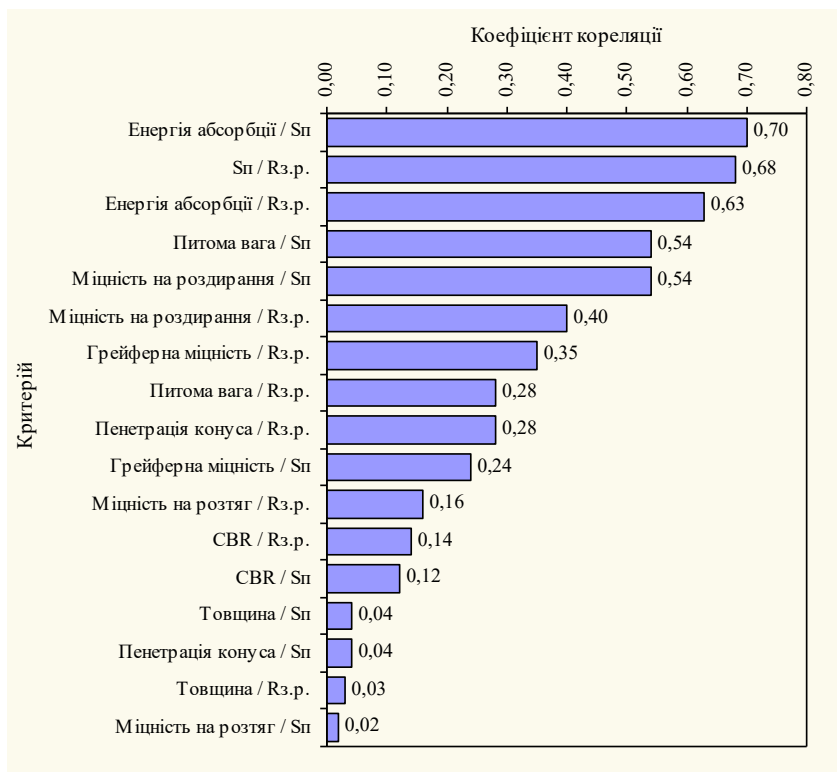
- необхідна величина залишкового ресурсу ГС повинна залежати від навантаження і деформації за строк служби конструкції;

- початкові напруження в геосинтетику після будівництва залежать від матеріалу основи, матеріалу засипки та способу будівництва й ущільнення.

Результати досліджень показали чітку кореляцію між енергією абсорбції (енергією деформування) для різних типів випробуваних геосинтетиків, незалежно від їх способу виготовлення і структури (рис. 1). Це було прийнято до уваги різними країнами для включення показника енергії абсорбції до національних систем класифікації.

**Суть способу оцінки залишкового ресурсу геосинтетика**, приведеного нижче, полягає в лабораторному моделюванні навантажень від будівельної техніки на полотно ГС. Для цього прийнята така послідовність кроків:

- встановлення режиму прикладання навантажень з урахуванням параметрів конструкції, тиску в контактї "колесо (гусениця) – верхній зернистий шар" і швидкості руху техніки;
- розрахунок напружень стиску, які виникатимуть в конструкції на рівні закладання ГС від дії будівельної техніки;
- прикладання еквівалентного режиму навантажень до моделі конструкції;
- оцінка залишкового ресурсу ГС.



*Рисунок 1 - Пріоритетність характеристик геосинтетиків для оцінки їх залишкової міцності (тут Sp – величина пошкодженної площі ГС в результаті укладання в конструкцію; Rз.р. – залишковий ресурс міцності ГС) [2]*

Розглянемо приведений порядок детальніше.

1. *Встановлення режиму навантаження* від дії машин і механізмів при спорудженні основи необхідне для оцінки величини і послідовності зусиль, які передаватимуться ГС, вкладеному між зернистими шарами. Для цього для кожної  $i$ -ї технологічної операції встановлюються необхідні машини і механізми та відповідаючі їм тиски  $p_i$  в контактні колеса/гусениці з поверхнею зернистого шару, діаметр контактної площі  $D_i$  та товщина зернистого шару  $h_i$ . Сумарний час прикладання навантаження до розглядуваної точки на поверхні оцінюється по швидкості руху  $V_i$ , кількості проїздів по одному сліду  $n_i$  і величині перекриття сліду  $\Delta_i$ .

Для спрощення розрахунків різнотипові зернисті шари, між якими закладається полотно ГС, приводяться до однорідного масиву, еквівалентного матеріалові підстиляючої основи, за формулою [3]:

$$h_{\text{екв}} = h_i \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left( \frac{E_{\dot{U}}}{E_i} + 1 \right)}, \quad (1)$$

де  $h_{\text{екв}}$  – еквівалентна товщина верхнього зернистого шару, приведена до модуля основи  $E_{II}$ ;

$h_{III}$  і  $E_{III}$  – відповідно товщина і модуль пружності верхнього зернистого шару.

2. *Вертикальні напруження тиску*  $\sigma_{ГС}$  на глибині  $z=h_{\text{екв}}$  для однорідного масиву від навантаження, розподіленого по кругу діаметром  $D$  з інтенсивністю  $p$ , згідно [4]:

$$\sigma_{zN} = p \left[ 1 - \left( 1 + \left( \frac{D}{2z} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} \right]. \quad (2)$$

Для пневматичного колеса інтенсивність  $p$  приблизно рівна тиску повітря в шині. У випадку навантаження через смугу шириною  $b$  вертикальні напруження встановлюються за формулою [4]:

$$\sigma_{\dot{A}N} = \frac{2p}{\pi} \left[ \arctg\left(\frac{b}{2z}\right) + \frac{bz}{2((b/2)^2 + z^2)} \right]. \quad (3)$$

За приведеними формулами розраховуються вертикальні напруження стиску  $\sigma_{ГС}$  на рівні закладання ГС полотна для кожної технологічної операції при влаштуванні щебеневого шару.

3. *Прикладання еквівалентного навантаження* здійснюється до змасштабованої моделі конструкції. При розробці моделі вважали, що:

- крупно- і дрібнозернисті шари зустрічаються в переважній більшості геотехнічних конструкцій;

- в більшості випадків геосинтетик застосовується в контактi з щебенем і піском;

- при контактi з щебенем геосинтетик пошкоджується найбільше.

Виходячи з таких передумов, модель складається з нижнього дрібнозернистого шару (пісок середньозернистий з модулем крупності  $M_k=2,0$ ), геосинтетичного прошарку і верхнього крупнозернистого шару (щебiнь фракції 20).

Для моделювання використовується металева форма розміром 230×125×90 мм (Д×Ш×В). На дно форми засипається середньозернистий пісок оптимальної вологості товщина шару якого після ущiльнення становить 40 мм. Поверх піску уздовж форми вкладається смужка геосинтетичного матеріалу розміром 350×125 мм так, щоб кінці смужки однаковою мірою виступали за борти форми. На ГС полотно засипається гранітний щебiнь фракції 20 мм до верху форми. Форма з матеріалами для тестування встановлюється у візок, який ковзає по направляючих рейках.

Модель піддається динамічному навантаженню на секторному пресі (рис. 2). Прилад створено таким чином, щоб моделювати проходження будівельної техніки по дорожній конструкції. Робочим органом є секторний металевий штамп з довжиною дуги 220 мм радіусом 200 мм і шириною контакту 50 мм, через який передається циклічне вертикальне навантаження заданої величини. Навантаження на штамп регулюється за допомогою набору додаткових вантажів. Швидкість прикладання навантаження

постійна і рівна 94 проходкам за хвилину (по 47 проходів у прямому й зворотному напрямках), що відповідає швидкості руху техніки 0,4 м/сек.



Рисунок 2 - Модель конструкції під секторним пресом

Режим еквівалентного навантаження моделі розраховується з умови, щоб величина напруження  $\sigma_{ГС}$  на рівні ГС полотна і тривалість його дії  $t_{ГС}$  відповідали технологічному режиму. При цьому прийнято допущення, що визначальним при переході від технологічного режиму до модельного є не кількість повторних проходжень техніки/штампа  $j$  над розглядуваною точкою, а сумарна тривалість дії навантажень даної точки на кожній  $i$ -й технологічній операції  $\sum_j t_{ij} = t_{iN_i}$ . Для встановлення залежності

зміни залишкового ресурсу, тестування необхідно виконувати при 3-х рівнях навантажень:  $0,5\sigma_{ГС}$ ,  $\sigma_{ГС}$  і  $1,5\sigma_{ГС}$ .

4. Оцінка залишкового ресурсу стосується характеристик, які є визначальними для заданого функціонального призначення

геосинтетика [5]. Так, наприклад, для оцінки залишкового ресурсу армуючих і розділяючих ГС матеріалів основними є механічні характеристики: міцність, деформативність та енергія абсорбції. Для фільтруючих і дренаючих геосинтетиків оцінка включатиме до того ж гідрравлічні характеристики; для ізолюючих – суцільність.

Величина залишкового ресурсу визначається при порівнянні характеристик пошкоджених і непошкоджених (еталонних) зразків.

**Приклад оцінки пошкоджуваності розділяючого ГС.** Нехай треба оцінити стійкість до пошкодження геотекстилю нетканого термічно скріпленого, який виконує функції розділення і стабілізації в дорожній конструкції між піщаною основою з модулем пружності  $E_{\text{П}}=100$  МПа і шаром щебеню, просоченого бітумом, товщиною  $h_{\text{Щ}}=0,20$  м з модулем  $E_{\text{Щ}}= 400$  МПа. Механічні характеристики трьох марок ГС, які слід тестувати, приведено в табл. 1.

**Таблиця 1** - Механічні характеристики нетканого термічно скріпленого геотекстилю

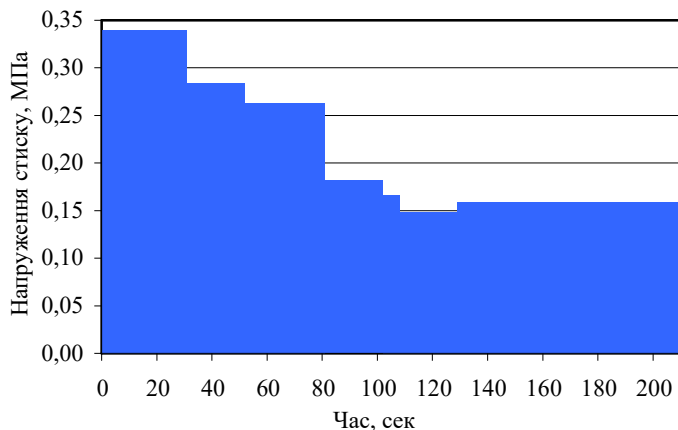
Марка геотекстилю	ГТ-1	ГТ-2	ГТ-3
Енергія абсорбції, кДж/м <sup>2</sup>	5,8	5,8	9,7
Границя міцності на розтяг, кН/м	12,6	13,1	20,0
Граничне видовження, %	55	55	55
Міцність при 5% видовженні, кН/м	5,2	5,7	8,2
Продавлювання СBR*, Н	1850	2000	3000
Занурення конуса, мм	32	23	21
Грейферна міцність, Н	1050	1100	1680
Міцність на роздирання, Н	335	475	550
Модуль пружності, кН/м	104	114	164
Модуль деформації, кН/м	22,9	23,8	36,4

Влаштування щебеневого шару складається з восьми операцій (табл. 2) з відповідними параметрами навантаження  $p_i$ ,  $D_i$ ,  $h_i$ ,  $V_i$ ,  $n_i$  та  $\Delta l_i$ . Ці параметри перераховані в режим еквівалентного навантаження з вертикальним напруженням  $\sigma_{ГСi}$  на рівні закладання ГС полотна та сумарним часом його дії  $t_{ГСi}$  (рис. 3).

Для виявлення ефекту пошкоджуваності ГС модель навантажувалась в статичному і динамічному режимах після чого порівнювались величини залишкових характеристик ГС з результатами випробувань еталонних зразків.

**Таблиця 2** - Послідовність технологічних операцій при влаштуванні щєбеневої основи

Операція	$P_{i\beta}$ МПа	$\sigma_{ГСi}$ МПа	$t_{ГСi}$ сек
1. Розподіл щєбеню фр. 40-70	0,37	0,34	30
2. Ущільнення щєбеню	0,50	0,28	21
3. Розподіл щєбеню фр. 40-70	0,37	0,26	30
4. Ущільнення щєбеню	0,50	0,18	21
5. Розлив рідкого бітуму	0,60	0,17	2
6. Розподіл щєбеню фр. 10-20	0,60	0,17	4
7. Ущільнення щєбеню	0,50	0,15	21
8. Рух технологічного транспорту	0,60	0,16	80



*Рисунок 3 - Режим еквівалентного напруження на рівні закладання ГС полотна*

Еталонні випробування проведено на зразках шириною 50 мм, а результати тестувань приведено до нормативних зразків шириною 200 мм за допомогою кореляційної залежності, отриманої для даних матеріалів [6]

$$R_{20} = 0,2263Q_5 + 0,9673, \quad (4)$$

де  $R_{20}$  – міцність ГС на розтяг при ширині зразка 200 мм;

$Q_5$  – граничне навантаження на зразок шириною 50 мм.

Для порівняння еталонних і пошкоджених зразків з останніх вирізалась смужка шириною 50 мм, випробовувалась стандартним методом [7], а результати приводились до нормованої ширини 200 мм.

За результатами тестувань розраховувалась енергія абсорбції матеріалу  $W$ :

$$W = \int_0^{\varepsilon_p} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (5)$$

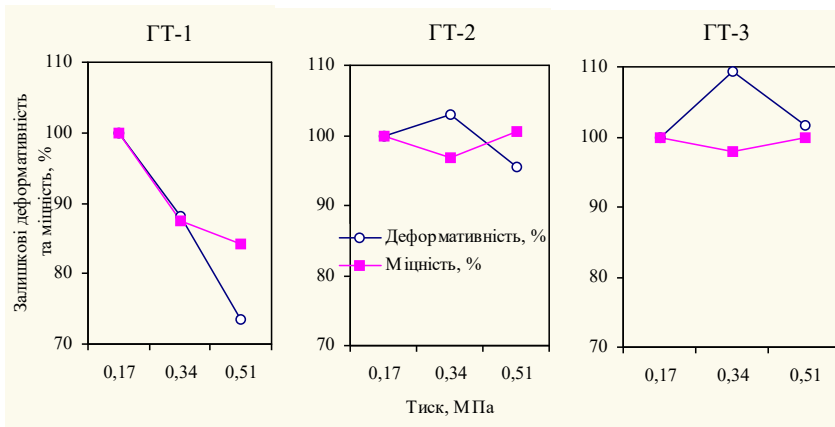
де  $\varepsilon_p$  – деформація зразка в момент розриву;

$\sigma(\varepsilon)$  і  $\varepsilon$  – відповідно напруження і деформації в зразку під час тестування.

*Статичний режим.* Навантаження передавалось через жорсткий циліндричний штамп діаметром 50 мм з контактними тисками 0,17, 0,34 та 0,51 МПа. Час дії навантаження становив 3 хв. 30 сек.

Виявлено, що лише найбільш слабка з випробуваних марок геосинтетика ГТ-1 проявила тенденцію до зменшення залишкового ресурсу по міцності та деформативності (рис. 4). Це дало можливість заключити, що статичний режим не є достатньо ефективним для тестування пошкоджуваності геосинтетика. Послідуочі випробування проводились в динамічному режимі.





*Рисунок 4 - Зміна залишкового ресурсу нетканого термічно скріпленого геотекстилю при випробуваннях в статичному режимі навантаження*

*Динамічний режим.* Для отримання залежності "величина циклічного навантаження – залишковий ресурс ГС" були вибрані три рівні навантаження, яким відповідають контактні тиски 0,19, 0,34 та 0,38 МПа. Сумарний час дії навантаження  $\Sigma t_{ГС}$  прийнято рівним 3 хв. 30 сек. Після навантаження зразки ГС візуально оцінювались на пошкодженість початкової структури, розрив частини волокон і пробивання та випробовувались на залишкову міцність-деформативність. Для марки GT-1 пошкодженою виявлено до 18% площі ГС. Для більш міцних марок – GT-2 і GT-3 – серйозність дефектів і їх площа були меншими.

*Аналіз залишкового ресурсу геосинтетиків.* За результатами випробувань еталонних зразків на розтяг можливо виділити три ділянки, які відрізняються по інтенсивності росту напруження і знаходяться в межах деформування 0–5–21–>55% (рис. 5).

В діапазоні  $\varepsilon=0\div5\%$  проявляються жорсткі властивості матеріалу завдяки міцності термічно скріплених контактів. В межах  $\varepsilon=5\div21\%$  контакти руйнуються і полотно починає розшаровуватись. При  $\varepsilon=21\div>55\%$  спостерігається пластичне течіння матеріалу волокон до моменту їх розриву.

Залишковий ресурс енергії абсорбції зразків, які піддалися попередньому циклічному навантаженню, виявляє чітку залежність

від марки ГС і рівня навантаження (рис. 6). Для досліджених марок геосинтетика критичним є діапазон напружень  $0 \div 0,2$  МПа, в якому найбільш інтенсивно втрачається величина енергії абсорбції (рис. 7).

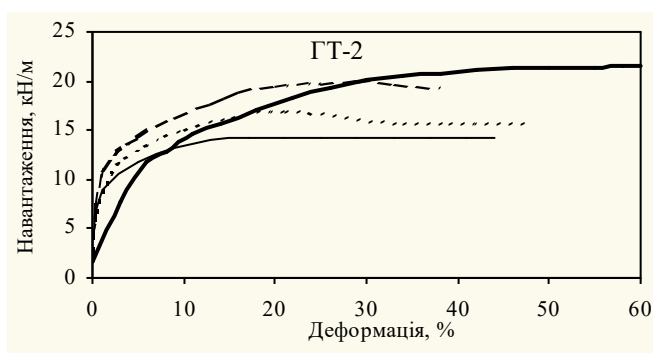
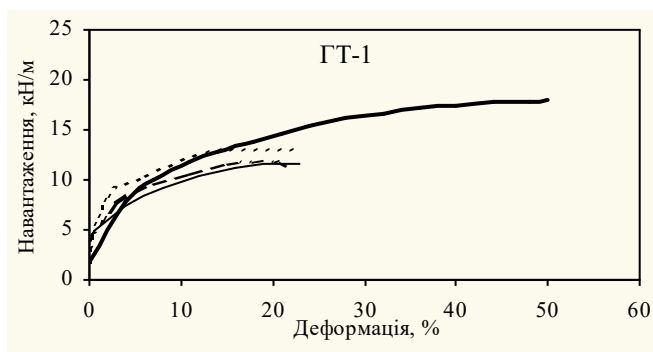
Виходячи з інтенсивності зменшення показника абсорбції можна:

- встановити найбільш оптимальні вид та марку геосинтетика для даної технології виконання робіт; або

- вибрати безпечні режими навантаження для заданих виду і марки геосинтетика; або

- встановити необхідну товщину крупнозернистого шару поверх полотна геосинтетика, щоб досягнути безпечного рівня навантаження.

З рисунків слідує, що матеріал ГТ-2 є найбільш ефективним для вибраної конструкції в термінах "залишкова міцність-вартість".



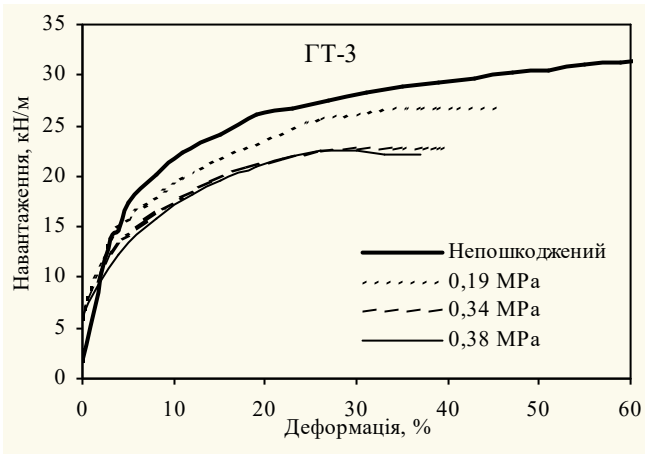


Рисунок 5 - Зміна міцності-деформативності зразків геосинтетика при різних ущільнюючих зусиллях

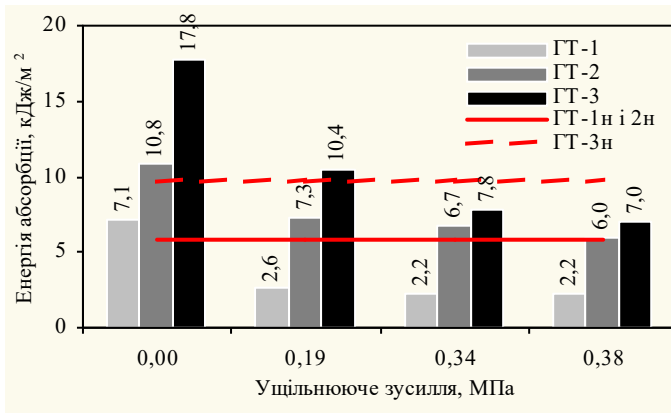
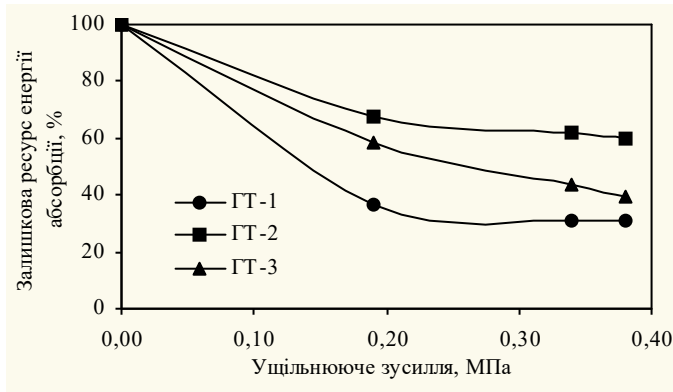


Рисунок 6 - Порівняння номінальних величин енергії абсорбції геосинтетика (GT-1н, GT-2н і GT-3н) з експериментально визначеними після прикладання циклічного навантаження (GT-1, GT-2 і GT-3)



*Рисунок 7 - Порівняння залишкового ресурсу енергії абсорбції геосинтетика після циклічного навантаження*

## **Висновки**

Динамічне моделювання на секторному пресі більш реально відображає роботу геосинтетика в контактi з щебенем завдяки включенню в процес розклинюючої дії щебінок на піщаній основі.

Запропонований підхід може розглядатись як основа для розробки стандартного методу випробувань. Додаткового дослідження вимагає вплив жорсткостей секторного штампa та основи під піщаним шаром, які можуть варіюватись за допомогою гнучких накладок і шарів.

Для експрес оцінки стійкості геосинтетиків їх номінальні характеристики слід доповнити допусками на зниження параметрів від пошкодження при укладці.

Включення в розрахунок номінальних механічних характеристик геосинтетиків може давати суттєві похибки. При проектуванні необхідно ґрунтуватись на залишковому ресурсі геосинтетичних матеріалів після вкiдання в конструкцію.

## Література

1. **Want A., Eiksund G., Knutson A.** Deformation and Damage of Non-Woven Geotextiles in Road Construction / 6<sup>th</sup> ICG, 1998, p.933-938.
2. **Diederich R.** Evaluation of Installation Damage of Geotextiles. A Correlation to Index Tests. / DuPont de Nemours Luxembourg S.A., 2000, p.1-8.
3. **Радовський Б.С.** Наближене визначення вертикальної напруги під дорожнім одягом / Автомоб. дор. і дор. буд., 1988, вип. 43 – с. 8-10.
4. **Timoshenko S.P., Goodier J.N.** Theory of elasticity, 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill, 1970.
5. **Гамеляк І.П., Шевчук В.Р., Шевчук О.О.** Критерії вибору геосинтетиків при проектуванні земляного полотна. Частина I: Класифікація та функції геосинтетиків / Автошляховик України, 2005, № 6 – с. 36-41.
6. **Diederich R.** "Tygar Technical Report 030", 2004.
7. **EN ISO 10319** "Geotextiles – Wide-width tensile test" (ISO 10319:1996).