

УДК 625.7

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

І.П. ГАМЕЛЯК

Національний транспортний університет

В.В. КОСТРИЦЬКИЙ, Л.Ф. АРТЕМЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Викладено проблеми та результати досліджень щодо застосування геосинтетичних матеріалів для підвищення міцності, зсувостійкості та тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів в аеродромному та дорожньому будівництві. Наведена розгалужена класифікація, визначені основні функції геосинтетичних матеріалів, їх основні показники, визначені шляхи поширення використання геосинтетичних матеріалів, з огляду на їх ефективність, різноманітність, багатофункціональність та широку область застосування

За останні десятиліття намітилась тенденція скорочення міжремонтних строків служби покриття.

Так у 60 – 70 роках минулого століття проектний строк служби автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям становив 15 – 18 років, а в нормах 2004 року з проектування нежорсткого дорожнього одягу зафіксовано фактичний строк 9 – 12 років. Це пов'язане зі збільшенням розрахункових навантажень (від 60 – 100 до 115 – 130 кН/вісь або 11,5 – 13 тс/вісь) та зростаючою інтенсивністю руху (до 22% на рік), погіршенням якості матеріалів, вичерпуванням ресурсу можливостей дорожньо-будівельних матеріалів (ДБМ). Так інтенсивність навантаження на виступи протектора зросла з 0,4–0,6 МПа до 0,7–0,85 МПа. З врахуванням коефіцієнту динамічності (1,25 – 1,5), можемо зазначити що, має місце перевищення діючих напружень щодо міцності асфальтобетону при температурі нагріву до 50 – 55 °С, яка складає 0,9 – 1,2 МПа. Це призводить причиною появи колійності (14%) на магістральних дорогах України. Відтак підвищення міцності, зсувостійкості та тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів в аеродромному та дорожньому будівництві є актуальною проблемою.

Постановка завдання

В останні 15 – 20 років для вирішення вказаних проблем широко використовуються гнучкі рулонні геограти, що мають достатньо високу міцність на розтяг і низькі деформаційні показники, є хімічно та біологічно стійкими, а також характеризуються гарною адгезією з бітумом та термостійкістю [1–4].

Менш, ніж за 30 років, завдання геосинтетикам (ГС) відбулись суттєві зміни в багатьох аспектах практики транспортного будівництва. Якщо в 70-х роках ХХ століття на світовому ринку було всього 5–6 геосинтетичних матеріалів (ГМ), то в 2000 році їх кількість становила близько 600, а у 2006 р на конференції в Йокогамі (Японія) було представлено більше 1000. Обсяги використання складають один трильйон метрів квадратних на рік та на загальну суму близько 1,5 млрд. доларів США [3]. Такі темпи росту та об'єми вказують на надзвичайно широке застосування та ефективність ГС у будівництві, завдяки їх функціональним властивостям. У багатьох випадках використання ГС може суттєво підвищити запас міцності, забезпечити довговічність та надійність, покращити працездатність та зменшити вартість будівництв, порівняно з традиційними проектними рішеннями.

Загальна кількість ГМ, що випускаються в світі, не піддається точному обліку. Їх сумарне щорічне світове виробництво можна приблизно оцінити в 1200-1500 млн м².

З цієї загальної кількості частка Північної Америки складає 300 млн м², частка Європи – 350 млн м², причому 80% європейського об'єму випуску складають неткані синтетичні матеріали. Європа й сьогодні продовжує залишатися головним споживачем геосинтетики (61%). Частка Азії складає 19%, Америки – 15%, в Африці та Австралії використовують близько 5% від загального обсягу світового виробництва.

Провідна роль Європи у використанні геосинтетики пояснюється декількома причинами. Тут поширені зони з надмірним зволоженням, є певні труднощі при відведенні земель під кар'єри зернистих матеріалів та накопичений досвід вирішення проблем за допомогою ГМ. В Європі прийняті норми ISO¹, DIN, у США ASTM² та AASHTO³, які регламентують використання ГМ. Всього за кордоном діє більше сотні стандартів, щодо застосування геосинтетики.

В нашій країні впроваджено лише шість ДСТУ, які є фактично переводом норм EN без перевірки основних положень. Це можна порівняти з вершиною айсберга, який нам недоступний для нас на сьогоднішній день.

Результати та їх обговорення

Геосинтетик – це матеріал, в якому хоча б одна з складових виготовлена з синтетичного або природного полімеру у вигляді полотна, стрічки чи тримірної структури та який використовується в контакт з ґрунтом та іншими будівельними матеріалами [4–9]. Об'єднання ґрунту з ГС слід розглядати як утворення нового композитного матеріалу, який поєднує в собі функції як ґрунту, так і синтетичного матеріалу. Геосинтетики мають розгалужену класифікацію (рис. 1) та різноманітні функції [6]. В Україні дослідження ГМ проводяться більше протягом ніж 20 ти років [4]. Незважаючи на те, що використання ГС не є новим для вітчизняних спеціалістів, все ж залишаються відкритими питання теорії та практики застосування даних матеріалів, зокрема в земляному полотні, та визначення критерії їх правильного вибору при проектуванні. Огляд вітчизняної літератури [4–7] вказує на вирішення окремих задач, що пов'язані з розрахунком і технологією будівництва з ГС. При цьому невирішеними багато питань проектування та будівництва конструкцій з використанням ГС залишаються. Розглянемо ефект, який досягається при застосуванні ГС різного призначення в ґрунтових конструкціях, та найбільш обґрунтовані проектні рішення щодо підсилення ґрунтової основи, стабілізації укосів насипів, розділення й фільтрації шарів, дренажів конструкції та контролю ерозії укосів.

Класифікація та функції геосинтетиків

Класифікація геосинтетиків включає такі таксономічні одиниці (рис. 1):

- *класи* (за сировиною): природні, хімічні та штучні;
- *групи* (за водопроникністю): водопроникні та водонепроникні;
- *типи* (за структурою): геотекстилі, віднесені до геотекстилю виробу, геосинтетичні бар'єри та геокомпозити;
- *підтипи*: геотканини, геонетканини, геотрикотаж, геограти, геосітки, геокомірки, геомати, геопрошарки, геопінопласти, геотруби, геосинтетичні бар'єри полімерні, бітумні (геомембрани) та геосинтетичні глиномати;

¹ International Standard Organisation – Міжнародна організація зі стандартизації (IGS), яка була заснована в Парижі (1983 р.). Deutsches Institut für Normung в Німеччині (1917 р.)

² American Society for Testing and Materials в США (1898 р.).

³ The American Association of State Highway and Transportation Officials в США (1956р.).

– види (за способом виготовлення): нетканинні, тканинні, трикотажні (в'язані), скріплені і екструдовані;

– підвиди (за способом скріплення): скріплені по механічній, фізико-хімічній або комбінованій технологіям.

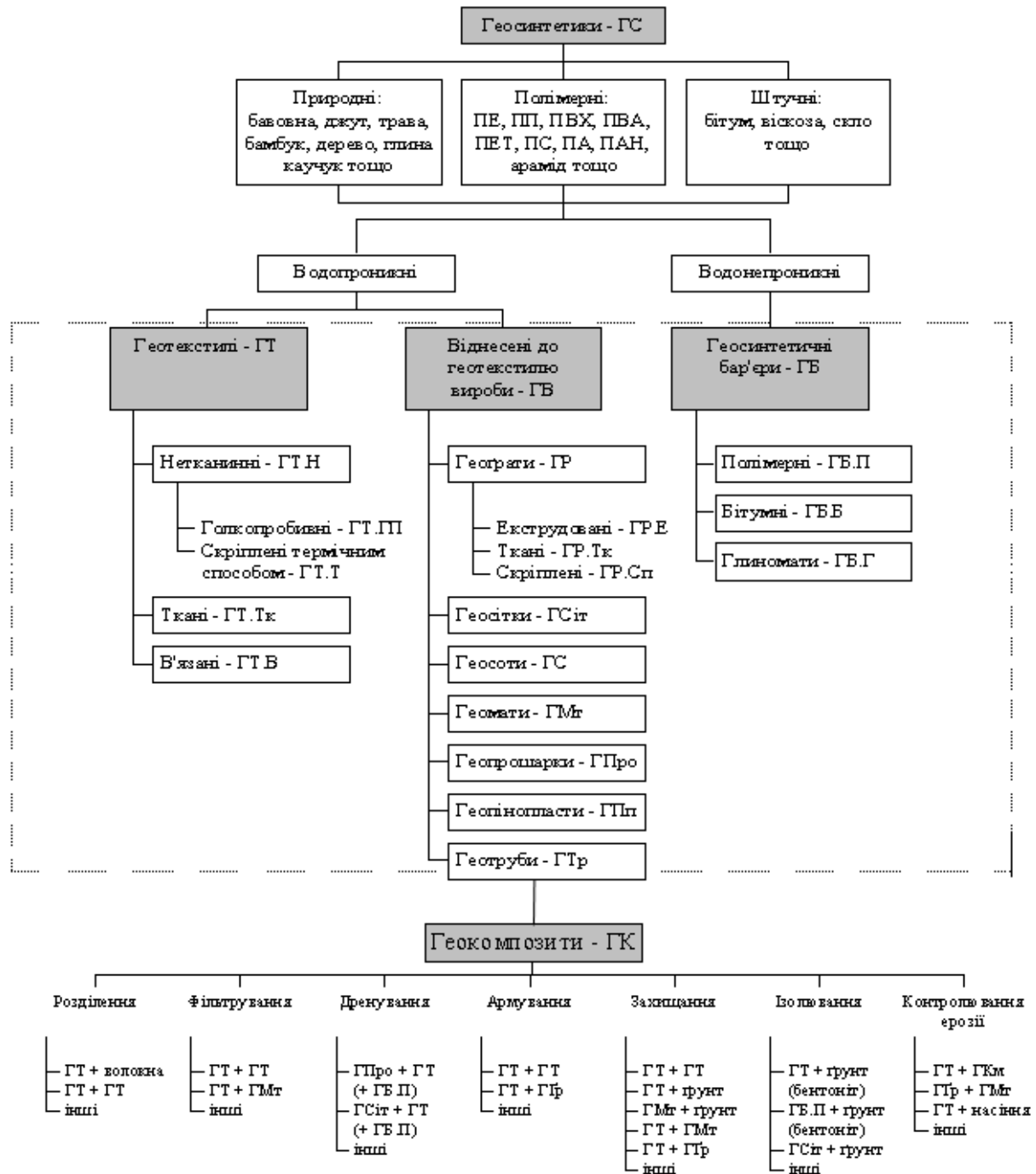


Рис. 1. Класифікація геосинтетиків за конструктивними параметрами

Геосинтетика виконують сім основних функцій в конструкції, а саме:

Розділення – геосинтетичне полотно розділяє два різнозернистих шари, завдяки чому забезпечується проектна товщина конструктивних шарів й цілісність конструкції.

Фільтрування – геосинтетик працює подібно до фільтру пропускаючи воду та затримуючи захоплені фільтраційним потоком ґрунтові частинки від виносу.

Дренування – геосинтетик працює як дрена для транспортування водного потоку в ґрунтах малої водопроникності.

Армування – геосинтетик працює як армуючий елемент у межах ґрунтової товщі або в комбінації з зернистим або монолітним матеріалом.

Захищення – геосинтетик використовується як амортизуючий шар між конструктивними шарами для запобігання їх пошкодженню.

Ізолювання – геосинтетик працює як відносно непроникний бар'єр для рідин і газів.

Протиерозійний захист – геосинтетик використовують для зниження ерозії ґрунту від атмосферних опадів, водної і вітрової ерозії.

Геосинтетичні ґратки в першу чергу застосовуються в таких випадках:

- при влаштуванні покриття на основах з низькою несучою здатністю;
- при посиленні конструкцій з великою кількістю тріщин або швів в основі;
- при розширенні КДО під час реконструкції;
- при виправленні під час розриття проїзної частини.

Армуючий синтетичний матеріал (АСМ) – синтетичний матеріал у вигляді *геоґрат*, *геотекстилю* чи *геокомпозиту* на основі полімерних або штучних волокон, який використовується для армування монолітних шарів нежорсткого дорожнього одягу.

Геоґрати (*geogrid*) – плоска полімерна структура у вигляді регулярної ґратки (сітки), що виготовлена на основі з'єднування (екструзією, спаюванням чи сплетенням) в одне ціле тривких до розтягування елементів, розмір отворів якої більший за розмір елементів. Використовується як армуючий прошарок у зернистих і монолітних матеріалах.

Геосітка (*geonet*) – геосинтетик у вигляді наборів паралельних ребер, що накладені під різними кутами та взаємоскріплені. Використовується в якості дренуючого ядра дренуючих гео композитів.

Геотекстиль (*geotextile*) – плоский проникний полімерний (синтетичний чи природний) матеріал, що може бути тканинним, нетканим або трикотажним, який використовують в контакт з ґрунтом або іншими матеріалами у геотехнічних і цивільно-будівельних спорудах.

Найпоширеніші полімери, з яких виготовляють геосинтетичні матеріали, такі: поліпропілен (92%); поліестер (5%); поліетилен (2 %); поліамід (1%).

Для виробництва використовують такі види волокон (рис. 1): моноволокна; мультисловолокна; коротко волоконні нитки; моноволокна із вузьких стрічок; мультисловолокна із вузьких стрічок.

Із волокон виготовляють пряжу, а з пряді – тканину. Залежно від технології виготовлення розрізняють – I) тканинні, II) неткані (голкопробивні чи термічно скріплені) або III) в'язані, хоча останні рідше використовують для виготовлення геотекстиля.

Характеристики ГМ

Зіставлення вітчизняних нетканих геотекстильних матеріалів із зарубіжними за комплексом показників властивостей свідчить, що вони ще не повністю вписуються в діапазон кращих зарубіжних матеріалів. На рис. 2 показано таке зіставлення для визначення граничних показників міцності на розтяг R_p (ISO 10319-96). Слід зазначити, що діапазон зміни показників властивостей зарубіжних матеріалів, відноситься до кращих їх марок *Terram*, *Polifelt*, *Typar* та ін.), хоча відомі й марки з істотно гіршими характеристиками.

При такому порівнянні сучасні вітчизняні матеріали повільно наближаються за значеннями показників властивостей до кращих зарубіжних марок. В той же час, на ринку присутні й вітчизняні матеріали, що представляють, по суті, асортимент 80-х років. Одночасне зіставлення характеристик визначає ті якісні зміни, які відбулися у вітчизняному виробництві в останні 5-10 років. Все більшого поширення набувають матеріали 4-го покоління, які характеризуються малою масою матеріалу на одиницю площі при збереженні характеристик міцності (рис. 2), що пов'язані з транспортними витратами та технологічними особливостями влаштування покриттів.

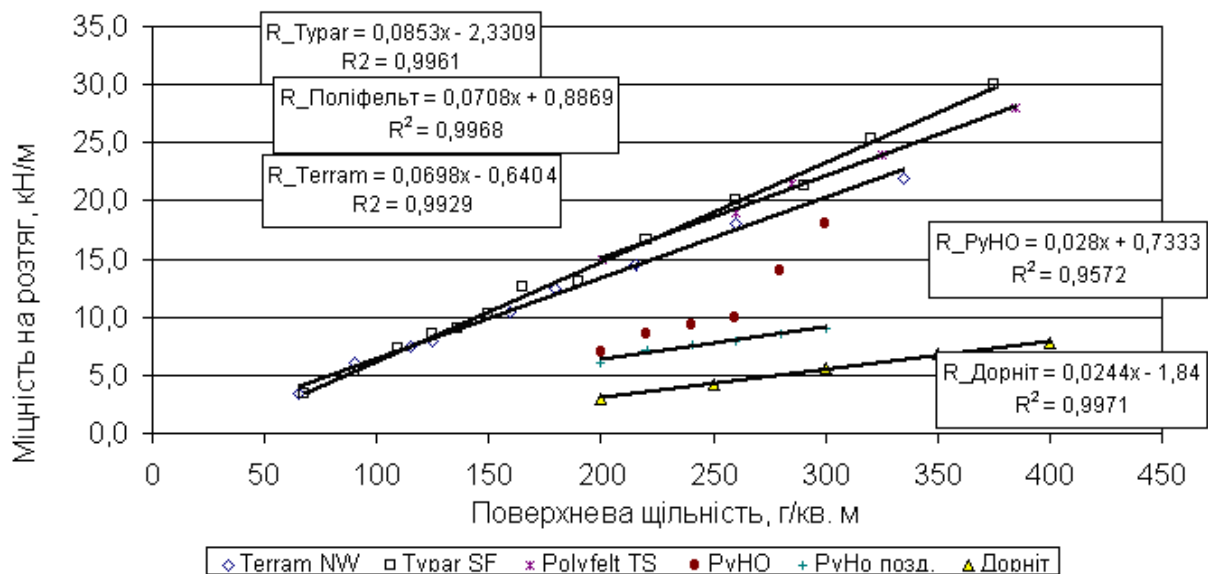


Рис. 2. Співставлення основних показників механічних властивостей нетканних геотекстильних матеріалів кращих зарубіжних марок, сучасних вітчизняних (Руно) і вітчизняних асортименту 80-х років (Дорніт)

Основна задача, яку мають ставити перед собою виробники ГТ - досягти мінімальних витрати сировини при високих характеристиках міцності, й завдяки цьому зменшити вартість матеріалу не тільки через менші витрати сировини, але і через зменшення транспортних витрат, внаслідок того, що матеріал стає легшим і діаметр рулону меншим. Наприклад, у термоскріпленому ГМ Тураг® SF 77 при поверхневій щільності 260 г/м², рулон має діаметр 32 см, при намотці 100 п.м, вага біля 128 кг, а конкуруючі матеріали при таких же параметрах ширини 5,3 та довжини 100 п.м. мають діаметр 80 см. Також Тураг® SF має нерівномірний розподіл пор, такий як і ґрунти, тому він жорсткий, не забивається та має оптимальне для геотекстилю видовження.

Основною характеристикою при виборі ГС на сьогоднішній день є міцність матеріалу на розтяг (рис. 3). Однак, є значна кількість матеріалів, які при однаковій міцності показують різне видовження. В цьому випадку сьогодні перевага віддається матеріалу з мінімальним видовженням. Останні дослідження показують, що це не відповідає, а скоріше знаходиться в суперечності з довговічністю матеріалу.

Як видно з даних випробувань, АСМ з поліефірних волокон різних виробників (Hatelit – виробництва Німеччини та Armatex RSR – виробництва Чехії) показують однакові значення міцності на розрив та відносне видовження. Матеріали з поліпропілену та поліетилену характеризуються відносним видовженням більше 15%, що не дозволяє рекомендувати їх в якості армуючих ґраток. Полівінілалкогольні матеріали є новими на світовому ринку.

Їх використовують тільки два виробники за кордоном.

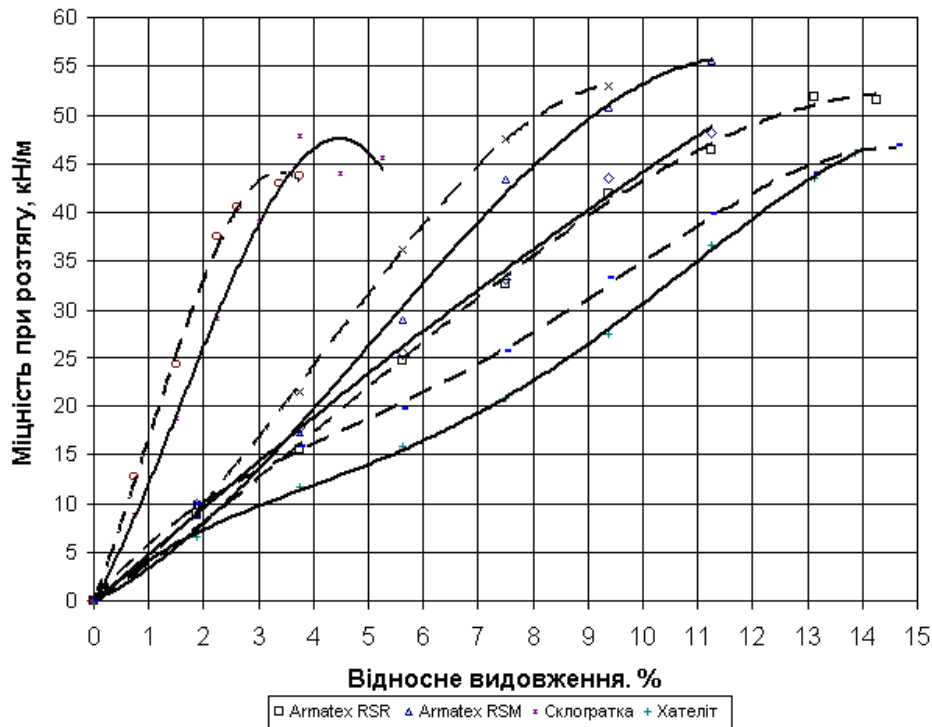


Рис. 3. Залежність «напруження - відносна деформація» для АСМ

Ефективним для виготовлення ГМ є поліамід, який на відміну від поліпропілену не розтріскується, й не псується протягом однієї зими, і має оптимальне видовження. Для порівняння працездатності різних ГС використовується поняття енергії абсорбції (енергії руйнування). Це комбінація видовження і прикладеного до матеріалу навантаження. Потенціал енергії абсорбції A_p встановлюється на основі діаграми "деформація-напруження", як площа під кривою (рис. 4).

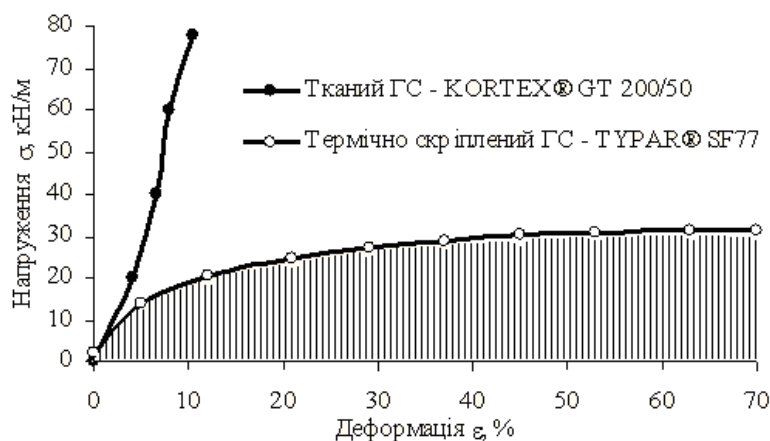


Рис. 4. Залежність «деформація-напруження» при випробуванні ГС на розтяг

Апроксимація $\sigma(\epsilon)$:

$$\sigma \epsilon = a_0 + a_1 \epsilon + a_2 \epsilon^2,$$

або

$$\sigma \epsilon = B \epsilon^b.$$

Енергія абсорбції:

$$A_p = \int_0^{\epsilon_p} \sigma \epsilon d\epsilon, \quad \epsilon_p > [\epsilon_{ГС+зр}],$$

де ϵ_p – гранична відносна деформація ГС при розриві; $[\epsilon_{ГС+зр}]$ – допустима деформація, яка відповідає сумісній роботі ГС з ґрунтом; B, b – параметри функції.

Приймаючи до уваги жорсткість основи, величину й режим навантаження та розподіл напружень в конструкції при підсиленні можна раціонально підібрати ГС матеріал для армування та місце його закладання в конструкцію.

Для виконання необхідної роботи, в конструкції номінальна величина A_p має бути більшою за фактичну енергію абсорбції ГС, яка виникає при певному напружено-деформованому стані ґрунтового масиву.

Технологічні питання вирішує пряме співставлення результатів випробувань матеріалів на теплостійкість в діапазоні робочих температур (рис. 5).

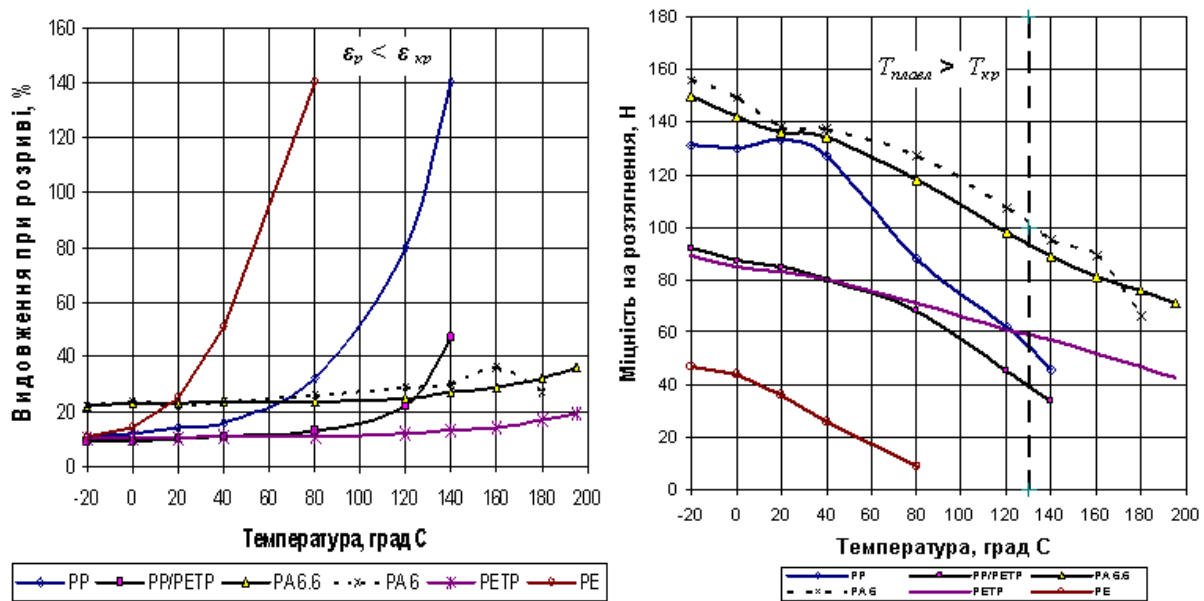


Рис. 5. Залежність видовження при розриві та міцності на розтягнення від температури

Для правильного вибору ГМ з точки теплостійкості повинна виконуватися така умова:

$$T_{плавл} > T_{кр}$$

де $T_{плавл}$ – температура плавлення волокон ГМ, $T_{кр}$ – температура початку ущільнення, яка залежить від температури розм'якшення бітуму, $T_{кр} = 92 + T_{розм}$.

Для ТМА (згідно ДСТУ Б В.2.7–127: 2006): на бітумі БНД 40/60 не менше 155 °С, на бітумі БНД 60/90 не менше 145 °С, на бітумі БНД 90/130 не менше 140 °С.

При експлуатації конструкцій армованих АСМ основним показником є витривалість (стійкість до втоми), яка добре корелює з енергією адсорбції. На рис. 6 наведено результати прямого співставлення трьох типів ґраток, що випробували на витривалість. Випробування проводили в дуже жорстких умовах, по аналогії з випробуванням кордних ниток для шин [7].

Найкращу витривалість мають поліефірні ґратки. Ґратки з скловолокна мають міцність при повторних навантаженнях на два – три порядки меншу ніж полімерні та не витримують навіть 150 циклів до руйнування при навантаженні 1 кГс.

Таким чином, у даний час слід обмежувати застосування склограток, які використовуються в шарах асфальтобетону в якості армуючих, для зниження тріщиноутворення на дорогах високих технічних категорій. Таке технічне рішення широко виливається при ремонті та реконструкції автомобільних доріг, для покриттів і розширення дорожніх конструкцій.

У цьому випадку термін служби матеріалів має, що співставляється з терміном служби нежорсткого дорожнього одягу (до 20 років). Проте, обґрунтування щодо терміну служби для склограток відсутнє. В той же час, у порівнянні з полімерними ґратками, загальноновизнана їх менша стійкість до різного роду агресивних впливів, що діють в умовах експлуатації.

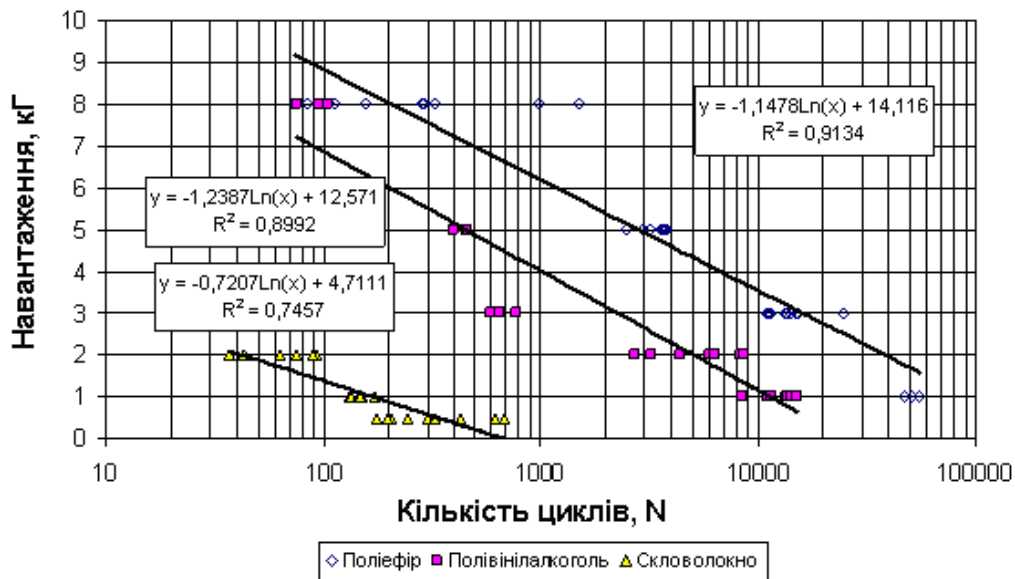


Рис. 6. Стійкість до дії багатocyклових навантажень 3-х типів ґраток

Відтак, зіставлення склограток і різних полімерних матеріалів за початковими, а не розрахунковими (на кінець терміну служби) параметрами властивостей, також некоректне. Розрахункова характеристика матеріалу визначається за такою формулою

$$T_d = \frac{T_f}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma},$$

де T_f – міцність матеріалу, визначена в лабораторії; значення часткових коефіцієнтів запасу приведено в табл. 1, тут $\gamma = 1,75$ - коефіцієнт безпеки.

З табл. 1 видно, що розрахункові значення слід зменшувати від 1,68 до 20 раз у порівнянні з отриманими в лабораторії.

При цьому найбільша втрата міцності характерна для поліпропіленових волокон, а найменша для полівінілалкогольних. Тому, дуже важливим є випробування різних матеріалів з визначенням фактичних часткових коефіцієнтів запасу.

Таблиця 1. Коефіцієнти зменшення ГМ із різних типів волокон

Коефіцієнти зменшення	Норми	Полівінілалкоголь	Арамід	Поліпропілен	Поліетілен (з підложкою)
		PVA	AR	PP	PET (+PP/PET)
Повзучість матеріалу (A ₁)	EN ISO 13431	2,5 (1,52)	2,5	5,0 (3,0- 4,0)	2,5 (1,56)
Пошкодження при влаштуванні шару (A ₂)	ENV 189010ISO 10722	2,0 (1,11)	2,0	2,0 (1,08)	2,0 (1,28)
Спосіб з'єднання (A ₃)	EN ISO 10321	1,0	1,0	1,0	1,0
Зовнішнього середовища (A ₄)	pH 4 - 9	2,0 (1,00)	3,3	2,0 (1,05)	2,0 (1,11)
Загальний коефіцієнт запасу		1,68 - 10	16,5	3,4 - 20	2,21 - 10

Пропонуються такі шляхи вирішення проблеми:

– розширення використання різних економічних і надійних геосинтетичних матеріалів доцільно вести в рамках розробки галузевої програми поширення застосування геосинтетичних матеріалів, враховуючи їх ефективність, різноманітність, багатофункціональність і широку область застосування.

Для вирішення назрілої проблеми в умовах фінансової кризи необхідно сконцентрувати зусилля на таких напрямках:

I) проектування та нормативна база:

– на основі ВБН “Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві” [8 -10] розробка 7 нових ДСТУ чи ВБН за основними напрямками використання ГМ;

– розробка програмного забезпечення для проектування конструкцій та споруд з використанням ГМ;

– розробка каталогу **технічних** рішень з використанням ГМ у конструкціях дорожнього одягу та земляного полотна, для дренажів, фільтрації та захисту від ерозії, для стоянок ТЗ і т.п.;

– розробка ТУ та ДСТУ на кожен матеріал в установленому порядку, не лише на щебінь, пісок і бітум й матеріали, які значно дорожчі.

II) випробування ГС:

– випробування моделей асфальтобетону, армованого ґратками, витривалість з доведенням до 1 млн. циклів в лабораторних умовах;

– уточнення часткових коефіцієнтів запасу, та коефіцієнтів запасу і стійкості і розрахунок надійності армованих конструкцій;

– випробування на кільцевому стенді, ділянок автомобільних доріг у реальних умовах при дії повторних навантажень, зокрема розробка пульсатора для визначення несучої здатності та витривалості;

– встановлення залежності зміни характеристик ГМ від впливу заморожування, відтавання, дії антижелезних засобів, солей, лугів та кислот.

III) будівництво та експлуатація автомобільних доріг та аеродромів:

– будівництво дослідних ділянок з різними конкуруючими матеріалами для прямого співставлення їх експлуатаційних властивостей;

– встановлення раціональної області використання ГМ у конкретних умовах будівництва, де вони є максимально ефективними (слабкі основи, тимчасові дороги, автомагістралі з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів, перезволожені ґрунти і т.п.). Часто матеріали використовують там, де вони особливої користі не дають й економлять там, де вони конче необхідні. Де найбільш вигідне положення матеріалу по глибині конструкції при новому будівництві, причини виникнення тріщин у монолітних матеріалах з позицій механіки руйнування та роль АСМ в зменшенні швидкості росту тріщин;

IV) підготовка кадрів:

– у зв'язку з введенням у програму навчальних закладів дисципліни “Сучасні ГМ”, необхідно видати підручник;

– необхідне проведення занять, семінарів тощо, підвищення кваліфікації для працівників дорожньої галузі;

V) машини й механізми:

– розробка конструкторської документації та виготовлення обладнання для визначення фактичних характеристик ГМ (при відповідному обґрунтуванні закупка сучасного обладнання);

– розробка пульсатора для визначення характеристик витривалості в натурних умовах.

VI) загальні питання:

– входження в міжнародні структури і організації, для запозичення досвіду, що був накопичений за попередні три десятиліття;

– прийняття програми та затвердження нормативної бази EN стосовно використання геотекстильних матеріалів та виробів (авторам відомо більше 80 європейських стандартів, з яких в Україні діє на сьогодні тільки 6);

– розвиток вітчизняного виробництва ГМ, які відповідають необхідним вимогам і перевищують зарубіжні аналоги. Для цього необхідні законодавчі акти що дають можливість зробити ефективним бізнес виробництва ГМ, а не експорт газу й нафти та імпорт готового продукту з-за кордону;

– створення Асоціації виробників, дослідників і користувачів ГМ та входження її в міжнародні структури;

– створення незалежних «Лабораторій Геосинтетики» (з усім необхідним обладнанням) та органу Сертифікації геосинтетичної продукції, з обов'язковою періодичною перевіркою матеріалів, які використовуються при будівництві та реконструкції доріг.

Стосовно ефективності використання АСМ в КДО достатньо виконати випробування матеріалів на витривалість в лабораторії, тоді стане зрозумілим їх фактичний ресурс довговічності (рис. 6) [7]. В результаті набагато менше коштів можна витратити для порівняння матеріалів на кільцевому стенді, де мають вирішуватися фундаментальні питання. Виробники матеріалів мають самі платити за отримання дозволу на використання матеріалу в певних напрямках будівництва.

Для цього необхідна розробка «Порядку впровадження геосинтетичних матеріалів», як і різних добавок. (ПАР, модифікаторів і т.п.).

Необхідне будівництво дослідних ділянок і моніторинг їх поведінки.

На цій основі слід встановити фактичні міжремонтні строки служби армованих конструкцій та залежність довговічності армоконструкцій від сумісної дії водно-морозних факторів та частоти

навантаження та також відсоток зменшення товщини асфальтобетонного покриття за рахунок армування.

Висновки

Таким чином, на вітчизняному ринку геосинтетичних матеріалів (ГМ) відбуваються якісні зміни. У той же час у практиці проектування не повною мірою використовуються можливості, що створюються завдяки застосуванню сучасних вітчизняних ГМ, що з'явилися.

У значній мірі таке положення пов'язане з об'єктивними обставинами, в деякій - суб'єктивними, пов'язаними, зокрема, з різними «лобістськими» можливостями виробників. Серед об'єктивних обставин, є такі основні:

– різноманітність ГМ, що розрізняються по структурі, технології виробництва, складу сировини, властивостям. Якщо в 80-х роках вітчизняним споживачам були доступні лише декілька різновидів ГМ, з 90-х років – десятки, то вже з 2000 – сотні, кожен з яких, у свою чергу, може мати десятки різновидів, що збільшує кількість варіантів вибору до декількох сотен;

– специфіка ГМ, що часто вимагає регламентації великого комплексу показників властивостей, суперечливо пов'язаних між собою (покращення одних може призвести до погіршення інших), що ускладнює вибір.

ЛІТЕРАТУРА.

- 1.Петрович В.В., Чечуга О.С. Геосинтетики. Вибір є, вибирати нікому / Дорожня галузь України. – № 5, 2008. – с. 76 – 78.
- 2.Скакун А. Это наш путь в Европу? / Транспорт № 8 (540). 2009. – с. 57 – 62.
- 3.Koerner R.M. Designing with Geosynthetics. – New Jersey. – 5th, – 2005. – 796 p.
- 4.Савенко В.Я., Петрович В.В., Каськів В.І., Усиченко О.Ю. Синтетичні матеріали – перспектива використання в дорожніх конструкціях / Автомоб. дороги і дор. буд-во, – 1999. – Вип. 57. – с. 143–153.
- 5.Shevchuk V., Mozgovoy V., Gamelyak I., Shevchuk E. Laboratory test method to evaluate the installation damage of geotextiles Proceedings of the 8th International Conference on Geosynthetics. – Vol.4, Yokohama, 2006. – p.1535–1538.
- 6.Мерзликин А.Е., Гладков В.Ю., Гамеляк И.П. Армирование асфальтобетонных покрытий при строительстве и реконструкции дорожных одежд. Автомоб. дороги: Обзорн. информ. ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – М.: 1990. – Вып. 5. – 45 с.
- 7.Кострицький В.В., Коломієць А.Я., Артеменко Л.Ф., Гамеляк І.П. Дослідження експлуатаційних характеристик геограт призначених для армування асфальтобетонного покриття. Вісник КНУДТ. – 2007. – Вип. 6. – с. 46 – 50.
- 8.ВБН В.2.3-218-544: 2008. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві. – К.: Укравтодор, 2008. – 120 с.
- 9.Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів. Доповнення до ВБН В.2.3-218-543. – К.: Укравтодор, – 2008. – 143 с.
- 10.СОУ 45.2-00018112-025: 2007 Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань. – К.: Укравтодор, 2007. – 106 с.

Надійшла 01.10.2009