

УДК 621.891

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ОДЯГІВ ПОКРИТТІВ ПЕРЕХІДНОГО ТИПУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

І. П. Гамеляк

В статті аналізуються математичної моделі для розрахунку товщини покриття конструкцій дорожнього одягу перехідного типу армованих геосинтетиками. Побудовані номограми для встановлення ефективності використання геосинтетичних матеріалів при армуванні.

В статье анализируются математические модели для расчета толщины покрытия конструкций дорожной одежды переходного типа. Построены номограммы для определения эффективности использования геосинтетических материалов при армировании.

In the article on the basis of the got simple mathematical model the efficiency of the use of geotextiles at the reinforcement of constructions of unpaved road is set

Вступ. При влаштуванні нежорстких дорожніх одягів перехідного типу (під'їзних доріг промислових підприємств, тимчасових, лісовозних і т.п. доріг) практикується традиційний метод будівництва тимчасових доріг, який передбачає влаштування неукріплених щебневих шарів. В процесі експлуатації під дією динамічного навантаження щебневий шар змщується з ґрунтом основи, знижуючи несучу здатність конструкції дорожнього одягу та з'являється колійність. Для вирішення цієї проблеми в усьому світі вже більше 30 років використовують геосинтетичні матеріали як підсилювальний елемент конструкції доріг [1-3]. Теоретичні основи розрахунку доріг перехідного типу безмонолітного покриття закладені в роботах класиків геосинтетики Giroud J.P. – Noiray L. (1981) [1] та Giroud - Ah-Line - Bonaparte (1985) [2]. Однак в багатьох країнах, особливо на теренах СНГ продовжуються дослідження щодо встановлення ефективності використання геосинтетичних матеріалів для армування основ [4].

Метою роботи є аналіз математичних моделей розрахунку дорожнього одягу перехідного типу армованих геосинтетичними матеріалами та встановлення ефективності їх використання для підвищення надійності конструкцій.

Основний текст

В діючих нормах ОДН 218.046-01 в Росії та ВБН ВБН В. 2.3.-218-186-2004 в Україні на проектування дорожніх одягів нежорсткого типу наявність геосинтетики враховується в критерії зсуву ґрунту земляного полотна через коефіцієнт k_d , який враховує особливості роботи конструкції на межі піщаного шару з нижнім шаром несучої основи. При укладанні на межі "піщаний ґрунт – зв'язний ґрунт земляного полотна" геотекстильного прошарку k_d слід приймати рівним 1,5. При цьому вимоги до геосинтетичного матеріалу не регламентуються.

Закордонно процес проектування доріг з нежорстким покриттям перехідного типу передбачає 5 етапів.

Етап 1: розрахунок потрібної товщини насипного шару, h'_0 для доріг з нежорстким покриттям за допомогою емпіричної формули [1-2]

$$h'_0 = 0,19 \frac{\log(N)}{CBR^{0,63}} \text{ або } h'_0 = \frac{125,7 \cdot \log(N) + 496,50 \cdot \log(1000 \cdot P) - 294,14 \cdot (r - 0,075)}{(1000 \cdot c_u)^{0,63}} \quad (1)$$

де h'_0 – товщина насипного шару, м;

P – розрахункове навантаження на одиничну вісь, кН;

r – допустима глибина колії, більша ніж 0,075 м;

N – кількість проходів стандартних (80 кН) осей транспортних засобів (ТЗ);

c_u – міцність на зсув (когезія) ґрунту слабкої основи, кПа.

Для приведення потоку транспортних засобів з навантаженням на вісь P_i до розрахункового навантаження $P_p = 80$ кН використовується формула

$$k_i = \left(\frac{P_i}{P_p} \right)^n, \quad (2)$$

де n – показник степеня, приймається рівним 0,35-0,44.

Емпіричне відношення між величиною Каліфорнійського Числа несучої здатності (CBR) і міцністю на зсув C_u [кПа] може використовуватися при CBR менше 5

$$c_u = k \cdot CBR, \quad (3)$$

де $k = 24 \dots 30$ приймається в залежності від типу армуючої ґратки.

Для визначення модуля пружності ґрунту можна скористатися апроксимацією: при CBR від 0,5 до 4,4; $E_{ГР} = 10,324 \cdot CBR$, при CBR більше або рівне 4,4 $E_{ГР} = 17,867 \cdot CBR^{0,64}$, де CBR наведено в %.

Формула (1) може використовуватися, якщо кількість проходів розрахункових осей не більша 10000 як вказано в роботі [1].

Етап 2: Розрахунок потрібної товщини насипного шару, h_0 , для доріг без покриття з одним проходом транспорту, використовується з використанням квазістатичного аналізу (див. рис. 1)

$$h_0 = \frac{-(B+L) + \sqrt{(B+L)^2 - 4(B \cdot L - c_1)}}{4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0} \quad (4)$$

$$c_1 = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot c_u}, B = \sqrt{\frac{P \sqrt{2}}{p_c}}, L = \frac{B}{2}$$

де p_c – величина розподілу тиску в кПа,

α_0 – кут призми розподілу навантаження в градусах, $\operatorname{tg} \alpha_0 = 0,6$, як прийнято в роботах [1-2].

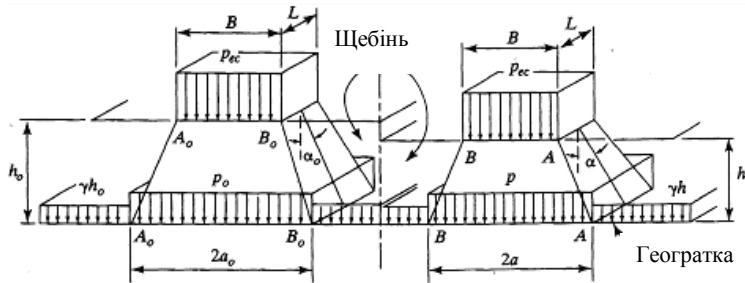


Рис. 1. Схема розподілу навантаження для перехідних доріг:

а) випадок без армування; б) випадок з армуванням

Етап 3: Розрахунок потрібної товщини насипного шару, h , для доріг з армуванням при одиночному проході на основі квазістатичного аналізу. Схема взаємодії потрібна, щоб отримати h з формули.

$$h = \frac{-(B+L) + \sqrt{(B+L)^2 - 4 \cdot (B \cdot L - c_2)}}{4 \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (5)$$

де $c_2 = \left[\frac{P}{(\pi + 2) \cdot c_u + \frac{K_e \cdot \varepsilon}{a \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{a}{2 \cdot s} \right)^2}}} \right]$

тут K_e і ε – відповідно січний модуль пружності та відносна деформація армуючої ґратки,
 $a = 0.5 \cdot (B + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \alpha)$, $a' = 0.5 \cdot (e - B - 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \alpha)$,
 де e – відстань між середніми точками двох пар коліс.

Якщо $a' > a$: $s = \frac{r \cdot a'}{a + a'}$, $\varepsilon = \frac{b + b'}{a + a'} - 1$, і якщо $a' < a$: $s = \frac{2ra^2}{2 \cdot a^2 + 3 \cdot a \cdot a' - a^2}$, $\varepsilon = \frac{b}{a} - 1$.

Відносна деформація при розтягненні георат ε визначається з таких двох формул:

$$\frac{b}{a} - 1 = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot s}{a} \right)^2} + \frac{a}{2 \cdot s} \ln \left(\frac{2 \cdot s}{a} + \sqrt{1 + \left(\frac{2s}{a} \right)^2} \right) - 2 \right], \quad (6)$$

$$\frac{b'}{a'} - 1 = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot (r-s)}{a'} \right)^2} + \frac{a'}{2 \cdot (r-s)} \ln \left(\frac{2 \cdot (r-s)}{a'} + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot (r-s)}{a'} \right)^2} \right) - 2 \right].$$

Посилення георатами покращує розподілення навантаження за рахунок “замкового ефекту” між насипним шаром і геораткою. Покращення розподілення навантаження може бути оцінено збільшенням кута в призмі розподілення навантаження або покращенням розподілення навантаження у відношенні $\operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg} \alpha_0$, де α_0 і α – кути розподілу навантаження в градусах без і з посиленням георат. Значення відношення покращення розподілення навантаження було знайдено від 1,1 до 2,5 в роботах [1-2]. Це відношення залежить від очікуваного ступеня армування, які георати надають системі. Для армуючих синтетичних матеріалів (АСМ) це відношення апроксимується лінійною функцією при модулі розтягнення 2% $\operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg} \alpha_0 = 1,1 + 0,0015 \cdot K_e$.

Етап 4: Розрахунок потрібної товщини насипного шару Δh при використанні АСМ

$$\Delta h = h_0 - h.$$

Етап 5: Розрахунок потрібної товщини насипного шару h' для підсиленої дороги з врахуванням дії транспортного навантаження $h' = h_0' - \Delta h$.

На рис. 2 наведена номограма для розрахунку економії товщини шару зернистого матеріалу при різних умовах будівництва, складена на основі наведених вище формул та робіт [1-2], яка ввійшла у ВБН В.2.3-218-544-2008 Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві.

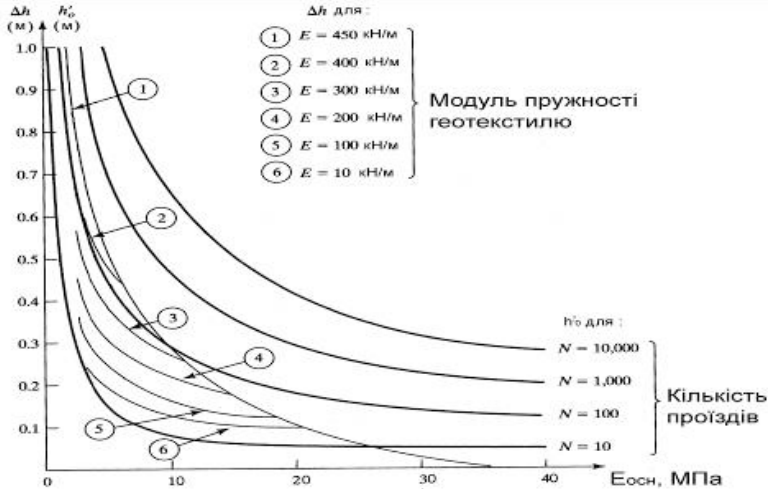


Рис. 2. Номограма для визначення товщини щебеневого шару основи дорожнього одягу перехідного типу

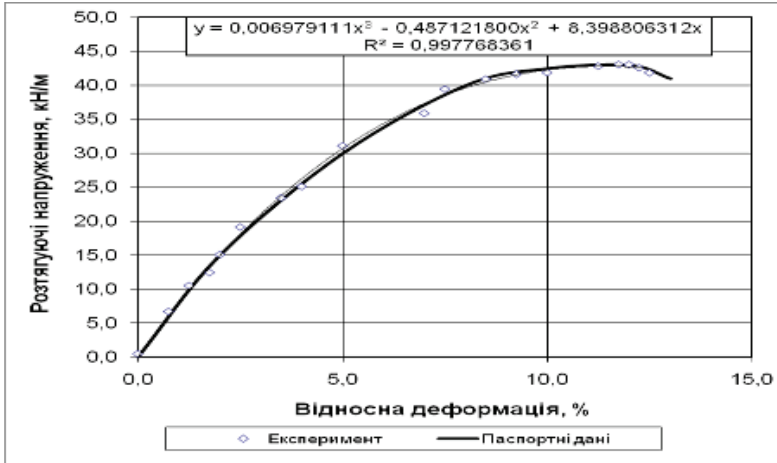


Рис. 3. Залежність “розтягуючі напруження – відносна деформація” для жорсткої ґратки

Вихідними даними для проектування конструкції дорожнього одягу (КДО) є модуль пружності при розтягу. На рис. 3 приведені результати випробувань жорсткої ґратки, виготовленої способом екструзії із поліпропілену.

За апроксимаційною формулою $R_p(\epsilon) = 0,006979111 \cdot \epsilon^3 - 0,487121800 \cdot \epsilon^2 + 8,398806312 \cdot \epsilon$, отриманою за результатами випробувань ґратки при температурі 20 °С та швидкості навантаження 50 мм/хв., знаходимо розрахункові характеристики ґратки (табл. 1).

При проектуванні КДО повинні використовуватись зусилля в георгатах та їх модулі пружності в поперечному напрямку, тому що рулони геограт звичайно розгортають вздовж дороги. При проектуванні стоянок транспортних засобів, заправок АЗС, площ і т. п. можливе розгортання геограток в поперечному напрямку, тоді приймається модуль пружності, визначений в поздовжньому напрямку.

Таблиця 1

Розрахункові характеристики ґратки

Відносна деформація, ϵ %	Розтягуювальне напруження за апроксимацією, R_p , кН/м	Січний модуль пружності, K_ϵ , кН/м	Примітка (використання при проектуванні)
0,5	4,1	820	аеродромів та доріг вищих категорій
2	14,9	745	доріг з перехідними типом покриття
5	30,7	614	земляних споруд

Для розрахунків за наведеними вище формулами складена програма для ПЕОМ. У результаті виконаного регресійного аналізу отримана математична модель для визначення товщини шару гравійного або щебеневого матеріалу в залежності від інтенсивності руху розрахункових осей та модуля пружності ґрунту земляного полотна:

$$h = a(N) \cdot E_{sp}^{b(N)} \tag{7}$$

де знайдені апроксимуючі формули для коефіцієнтів регресії мають вигляд

$$a(N) = a \cdot N^b \tag{8}$$

$$b(N) = a \cdot \ln(N) - b'$$

тут $a_1=253,71$, $b_1 = 0,0152$, $a_2=0,0408$, $b_2 = 0,91$ для гравію та $a_1=221,45$, $b_1 = 0,01291$, $a_2=0,0445$, $b_2 = 0,965$ для щебеню.

Приклад порівняння варіантів неармованої та армованої основи для досягнення різних модулів пружності на поверхні зернистого матеріалу без заміни ґрунту земляного полотна, наведений на рис. 4.

Матеріали досліджень враховані при розробці “Каталогу типових конструкцій дорожніх одягів автомобільних доріг загального користування та стоянок великокашових транспортних засобів з урахуванням регіональних умов роботи стосовно використання геосинтетичних матеріалів”.

При проектуванні конструкцій з використанням геосинтетичних матеріалів даються листи каталога для різних варіантів конструкцій, різних кліматичних умов та класу навантаження.

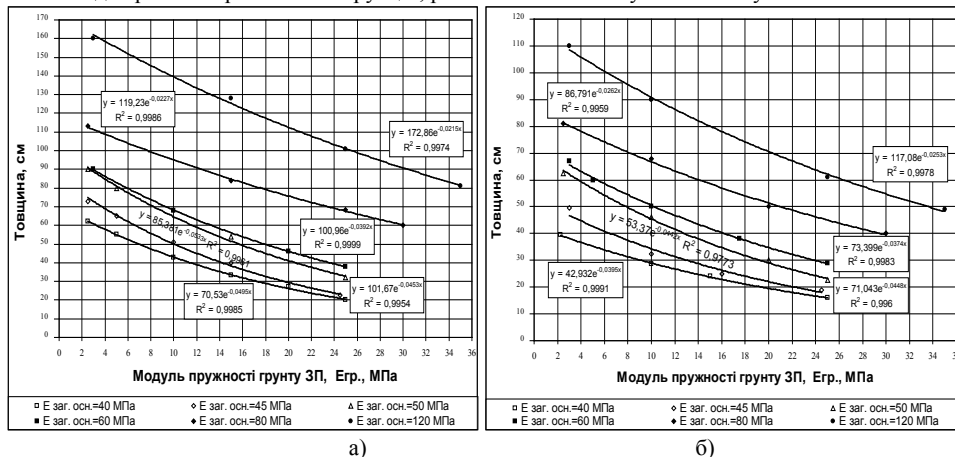


Рис. 4. Графіки для визначення товщини шару дробленого щебеню: а) без армування; б) з армуванням

Для забезпечення надійності конструкцій за основу приймається підхід, коли незалежно від виду ґрунту земляного полотна під монолітними шарами (асфальтобетонними, з пісного бетону чи укріпленого шару) мінімальне значення загального модуля пружності на поверхні основи має бути не менше 150 МПа для магістральних доріг I – II категорій і 120 МПа для місцевих доріг III – IV категорій.

Висновки

- Армування геосинтетичними матеріалами дозволяє зменшити товщину зернистих шарів за рахунок покращення механізму рівномірного розподілу напружень від коліс транспортних засобів та сприйняття розтягувальних напружень. Чим менша несуча здатність ґрунту тим більший економічний ефект може бути досягнутий. За допомогою наведених залежностей, створеної математичної моделі та номограм можна, не затрачуючи багато часу, провести аналіз ефективності використання армування щебених або гравійних шарів в конструкціях дорожнього одягу перехідного типу (тимчасові дороги, лісовозні дороги тощо).

Використана література

1. Giroud J.P. Geotextile-reinforced unpaved road design // J.P. Giroud, L. Noiray and L. Noiray. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1981. – 107. – P. 1233-1254.
2. Giroud J.P. Design of unpaved roads and trafficked areas with geogrids // J.P. Giroud, C. Ah-Line and R. Bonaparte. London. – Proc. Symp. On Polymer Grid Reinforcement in Civil engineering, 1985. – P. 9–12.
3. Rügger R. Bauen mit Geokunststoffen // R. Rügger, R. Hufenus. – SVG 2003. ISO 3-9522774-01, VSS-Forschungsprojekt 2000/450.
4. Друкований М. Ф. Армовані основи будівель та споруд. Монографія // М. Ф. Друкований, С. В. Матвєв, Б. Б. Корчєвський та ін. – Вінниця : “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2006. – 235 с.
5. Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом Міжнародної науково-технічної конференції “Інноваційні технології в будівництві” (10-12 листопада 2010 р.).

Гамеляк Ігор Павлович – д.т.н., професор кафедри “Аеропорти” Національний транспортний університет.