

Корольков Р.О.

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ АРМУВАННЯ УКОСІВ НАСИПІВ
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ НАПРУЖЕНОГО
СТАНУ ПРИ ЇХ СПОРУДЖЕННІ**

Анотація. У статті наведена методика розрахунку армування укосів насипів автомобільних доріг з урахуванням зміни напруженого стану при їх спорудженні.

Ключові слова: автомобільна дорога; насип; укіс; геосинтетичні матеріали; армування.

Аннотация. В статье приведена методика расчета армирования откосов насыпей автомобильных дорог с учетом изменения напряженного состояния при их сооружении.

Ключевые слова: автомобильная дорога; насыпь; откос; геосинтетические материалы; армирования.

Abstract. The article describes methods of calculating reinforced embankments embankments of roads to the changing stress state in their construction.

Keywords: highway, embankment, slope, geosynthetic materials reinforcement.

У 2006 року у м. Йокогама (Японія) відбулась Восьма міжнародна конференція з геосинтетики [1]. Конференція була організована Міжнародним товариством з геосинтетики (IGS – International Geosynthetic Society) за підтримки Міжнародного товариства з механіки ґрунтів і геотехнічного будівництва та інших організацій. У роботі конференції прийняли участь близько 700 інженерів, дослідників і виробників геосинтетики з 51 країни світу, у тому числі і делегація з України.

Цей Форум був признаний найбільш вагомим і масштабним в історії міжнародних конференцій з геосинтетики за останні 30 років, його метою було надання можливості обміну інформацією між спеціалістами в галузях, які відносяться до геосинтетики, а також огляд інновацій і намічання перспектив розвитку напрямку геосинтетиків.

У рамках конференції працювала виставка виробників геосинтетичних матеріалів, на якій були представлені її світові лідери з Азії, Європи, Північної Америки і Нової Зеландії. Аналіз світового застосування геосинтетичних матеріалів засвідчив наступні результати рис. 1.



Рис. 1. Сучасні пріоритети розвитку геосинтетиків за даними IGS

Висновком даної конференції була константація, що геосинтетичні матеріали знаходять все нові області застосування завдяки різноманітності їх видів і функцій з одного боку, а з іншого – завдяки загальній тенденції в будівництві: екологічності, необхідності будівництва у складних геологічних умовах (слабкі ґрунти, неоднорідні основи, гірські райони, насипні землі, відвойовані в моря території, сейсмічноактивні райони тощо), зниженню вартості і підвищенню надійності конструкцій

В Україні геосинтетичні матеріали були використані на всіх великих будівництвах і реконструкціях автомобільних доріг державного значення. Це такі дороги як Київ – Чоп, Київ – Одеса, Київ – Бориспіль, Кіпті – Глухів – Бачівськ, при ремонті вулиць м. Києва, зокрема вул. Хрещатик, та на багатьох інших об'єктах як дорожнього, так і цивільного будівництва. Наприклад, при реконструкції автомобільної дороги Київ – Бориспіль було використано понад 151 тис. м² різних матеріалів, а Київ – Одеса – понад 350 тис. м².

Останніми роками в Україні набули чинності нормативні документи, які регламентують методи випробування геосинтетичних матеріалів, розрахунки та технологію їх застосування ВБН В.2.3-218-544 [2], Посібник [3], СОУ 45.2-00018112-025 [4].

У ВБН В.2.3-218-544 [2], Посібник [3], стійкість укосів насипу пропонується розраховувати на основі круглоциліндричних поверхонь ковзання (процес їх знаходження, як правило, автоматизований, але все одно трудомісткий) і без урахування зміни напружено-деформованого стану насипу у процесі його зведення. Автором, на основі теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень (із обґрунтуванням і застосуванням плоскої поверхні ковзання, а також з урахуванням зміни напруженого стану при спорудженні земляного полотна), пропонується наступна методика розрахунку необхідного армування для стабілізації укосів насипів:

1. Із робочого проекту ділянки автомобільної дороги приймають потрібну висоту насипу – H ; вид ґрунту і його характеристики.

Можливо два варіанти розрахунку армування:

а) відомий тип геосинтетика і його характеристики і потрібно перевірити можливість його застосування;

б) потрібно підібрати геосинтетичний матеріал і його характеристики.

При розрахунках за варіантом "а" потрібно визначити, за розробленою автором методикою, а на сучасному етапі згідно з [4], коефіцієнти взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом на зсув (f_{ds}) та при висмикуванні геосинтетика із тіла насипу (f_{ds-e}).

Згідно з [2] визначають Проектну міцність армуючого геосинтетика визначають за формулою (1):

$$T_D = \frac{T_{\text{ном}}}{\gamma_m \cdot \gamma_n}, \quad (1)$$

де $T_{\text{ном}}$ – приймається рівною:

- R_p міцності на розрив, при розрахунках на короткотривалий строк служби споруди або конструкції;

- R_{cr} міцності при повзучості при розтягу (довготривала міцність), при розрахунках на довготривалий строк служби.

При розрахунках за варіантом "б" потрібно назначити коефіцієнти взаємодії ґрунту з геосинтетиком за [2]. Якщо експериментальні дані по визначенню R_{cr} відсутні, то R_{cr} визначається за формулою (2):

$$R_{cr} = \frac{R_p}{\gamma_{cr}}, \quad (2)$$

де γ_{cr} – частковий коефіцієнт на повзучість: для поліестеру – 2,5; для поліпропілену – 5,0; для поліаміду – 2,86; для поліетилену – 5,0.

2. Розраховують граничний кут закладення укосу насипу (δ), з врахуванням, що функція $arcsin$ дійсна на проміжку від 1 до -1:

$$\delta = arcsin \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{4c \cos \varphi}{\rho g H} + \sin \varphi\right)^2 + \cos^2 \varphi}} \right) - arctg \left(\frac{\cos \varphi}{\frac{4c \cos \varphi}{\rho g H} + \sin \varphi} \right), \quad (3)$$

де c – питоме зчеплення ґрунту;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту;

ρ – щільність ґрунту насипу;

g – прискорення вільного падіння;

H – висота укосу.

У випадку, коли функція $arcsin$ не дійсна, тоді δ розраховують розв'язуючи трансцендентне рівняння:

$$\sin \left(\delta + arctg \left(\frac{\cos \varphi}{\frac{4c \cos \varphi}{\rho g H} + \sin \varphi} \right) \right) = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{4c \cos \varphi}{\rho g H} + \sin \varphi\right)^2 + \cos^2 \varphi}}. \quad (4)$$

3. Розраховують нахил поверхні ковзання армованого насипу:

$$\operatorname{ctg} \theta_1 = -\frac{2f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{ctg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \delta}{2} + \sqrt{\frac{(2f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{ctg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \delta)^2}{4} - (1 + \operatorname{ctg} \delta)}. \quad (5)$$

4. Критичний кут ковзання армованого укосу насипу θ_{max} :

$$\theta_{max} = \arctg \theta_1. \quad (6)$$

5. Загальне армуюче зусилля T_a , яке необхідне для забезпечення заданої внутрішньої стійкості укосу, визначають за формулою:

$$T_a = \frac{\gamma \cdot H^2 \cos \theta_{max} \cdot \sin \theta_{max} (1 - \operatorname{ctg} \delta \cdot \operatorname{tg} \theta_{max} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \theta_{max} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \delta)}{2 \cdot \sin \theta_{max} (\cos \theta_{max} + f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \theta_{max})}. \quad (7)$$

У подальших розрахунках приймають $T_{a\text{роз}}$ із підвищуючими коефіцієнтами, які враховують відповідальність споруди, спрощений (плоска поверхня ковзання) метод розрахунку тощо.

6. Розраховують необхідну кількість армуючих геосинтетичних прошарків:

$$N_{\text{арм}} = \frac{T_{a\text{роз}}}{T_D}. \quad (8)$$

7. Визначають глибину вертикальної тріщини відриву:

$$h_{90} = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (9)$$

8. Розраховують відстань між армуючими прошарками:

$$d_a = \frac{H - 0,5 \cdot h_{90}}{N_{\text{арм}}}. \quad (10)$$

9. Перший прошарок від поверхні насипу розміщують на глибині $0,5h_{90}$, а перший від основи насипу – на відстані d_a , далі прошарки розподіляють рівномірно по висоті насипу та визначають глибину їх закладання (z_i) від поверхні насипу.

10. Знаходять кут біля вершини насипу β :

$$\beta = 90 - \delta. \quad (11)$$

11. Розраховують вертикальне напруження σ_{z_i} з врахуванням технології спорудження насипу та стадійного укладання армуючих геосинтетичних прошарків:

$$\sigma_{z_i}^* = \frac{\rho g}{\text{ctg}\beta + \beta + \frac{\pi}{2}} \left\{ -z_i \cdot \left[\beta \cdot (1 + 2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta) + \cos^2 \beta \text{ctg}\beta + \frac{\pi}{2} \sin^2 \beta \right] + \right. \\ \left. + 2 \cos^4 \beta (z_i \cdot \text{tg}\beta) \ln(\text{tg}\beta) - 2 \sin \beta \cos^3 \beta (z_i \cdot \text{tg}\beta) \times \arctg(\text{ctg}\beta) \right\}. \quad (12)$$

12. Розраховують довжину анкерування армуючого прошарку у стійку частину насипу:

$$L_{\text{анк}} \geq 1 + \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot f_{ds-\theta} \cdot \sigma_z^* \cdot \text{tg}\varphi}, \quad (13)$$

де $[K_R]$ – мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укусу згідно з [2] (для доріг I і II категорій – 1,5; III і IV – 1,3).

13. Розраховують довжину геосинтетичного прошарку у призмі обвалення:

$$L_{\text{пр.обв}} = X_\theta - X_\delta, \quad (14)$$

де X_θ – горизонтальна проекція лінії ковзання на рівні закладення армуючого прошарку;

X_δ – горизонтальна проекція лінії укусу на рівні закладення армуючого прошарку.

$$X_{\theta} = \frac{h_{ai}}{\operatorname{tg} \theta}, \quad (15)$$

де h_{ai} – висота закладення армуючого прошарку.

$$X_{\delta} = \frac{h_{ai}}{\operatorname{tg} \delta}. \quad (16)$$

14. Розраховують загальну довжину армування для кожного геосинтетичного прошарку:

$$L_{\text{арм}} = L_{\text{анк}} + L_{\text{пр.обв}} + L_{\text{об}}, \quad (17)$$

де $L_{\text{анк}}$ – довжина анкерування геосинтетичного прошарку;

$L_{\text{пр.обв}}$ – довжина геосинтетичного прошарку у призмі обвалення на рівні його закладання;

$L_{\text{об}}$ – довжина геосинтетичного прошарку, яка передбачається на влаштування обойми (коли за проектом не передбачено влаштування обойм, то $L_{\text{об}} = 0$).

Висновок

У результаті роботи розроблена нова методика розрахунку армування укосів насипів автомобільних доріг, яка базується на використанні у розрахунках плоскої поверхні ковзання та урахуванням зміни напруженого стану при їх спорудженні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шевчук В.Р., Журба Г.В. Міжнародна конференція з геосинтетики: сучасні напрямки розвитку // Автошляховик України. – 2006. – № 6. – С. 38–40.
2. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008.. – К.: Укравтодор, 2008. – 126 с.
3. Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН В.2.3-218-544:2008). – К.: Укравтодор, 2008. – 145 с.
4. Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань: СОУ 45.2-00018112-025:2007. – К.: Укравтодор, 2007. – 104 с.